



11. Uluslararası

# DICLE

Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi

15-16 Nisan 2026  
DİYARBAKIR

Editörler:

Prof. Dr. Metin KOPAR  
Dr. Muhammad FAISAL



# INDEX

<b>CONGRES ID</b>		<b>III-VII</b>
<b>PROGRAM</b>		<b>VIII-XXIX</b>
<b>GALLERY</b>		<b>XXX-XLV</b>
<b>ACADEMIC INCENTIVE</b>		<b>XLVI</b>
<b>CONFERENCE PAPERS</b>		<b>XLVII-L</b>



## **CONGRESS ID**

### **CONGRESS TITLE**

*INTERNATIONAL DICLE SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS-XI*

### **DATE AND PLACE**

*15-16 APRIL 2026 DİYARBAKIR/ TÜRKİYE ONLINE PRESENTATIONS*

### **ORGANIZATION**

*ISARC Academy INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER*

### **EDITOR**

*Prof. Dr. Metin KOPAR  
Dr. MUHAMMAD FAISAL*

### **CONGRESS PRESIDENT**

*Prof. Dr. Metin KOPAR  
Adyaman University*

### **ORGANIZING COMMITTEE**

- |  |   |
|--|---|
| <i>Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE</i>              | <i>Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK</i>             |
| <i>Prof. Dr. Cenk YAVUZ</i>                | <i>Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI</i>      |
| <i>Prof. Dr. Mahire HÜSEYNOVA</i>          | <i>Assoc. Prof. Dr. Sahure YARIŞ</i>            |
| <i>Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV</i>          | <i>Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ</i>              |
| <i>Prof. Dr. Hilmi YÜCEL</i>               | <i>Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK</i>             |
| <i>Prof. Dr. Kübra KARAMAN</i>             | <i>Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI</i>           |
| <i>Prof. Dr. Mehmet DEMİR</i>              | <i>Assoc. Prof. Dr. Zamig TEHMEZOV</i>          |
| <i>Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU</i>        | <i>Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN</i> |
| <i>Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN</i>            | <i>Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU</i>              |
| <i>Prof. Dr. Sancar BULUT</i>              | <i>Assoc. Prof. Dr. Zulfıyya ISMAYIL</i>        |
| <i>Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN</i>     | <i>Dr. Abdullah ATILGAN</i>                     |
| <i>Prof. Dr. Tolga ULUSOY</i>              | <i>Dr. Canan TERCAN</i>                         |
| <i>Prof. Dr. Yedigâr GÜLSEVEN SIDIR</i>    | <i>Dr. Elvan CAFEROV</i>                        |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Başak Gül AKAR</i>     | <i>Dr. Fatma AZİZOĞLU</i>                       |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Caner YERLİ</i>        | <i>Dr. Gönül GÖKÇAY</i>                         |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ</i>      | <i>Dr. Hakkı ŞİMŞEK</i>                         |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ</i>  | <i>Dr. Laleş USLU AZARAK</i>                    |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL</i>        | <i>Dr. Mine KIRKYOL</i>                         |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Filiz RANDA ZELYÜT</i> | <i>Dr. Sevil ÖZCAN</i>                          |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Gamze Ebru ÇİFTÇİ</i>  | <i>Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU</i>                   |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Gönül HASANOVA</i>     | <i>Dr. Şengül ŞENTÜRK</i>                       |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ALKIŞ</i>      | <i>Dr. Rana BAYTİN ALACI</i>                    |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Murat IŞIK</i> |   |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN</i>        |   |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ</i>       |   |
| <i>Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU</i>         |   |

**ISBN: '978-625-378-636-6'**



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

## **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 SARIKÜRCÜ  
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 SHAIKH  
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  
Azərbaycan 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 Şahin  
Gaziantep University*

*Prof. Dr. Morakeng Edward  
Kenneth LEBAKA University Of Zululand*

*Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU  
Cumhuriyet University*

*Prof. Dr. Manole COJOCARU  
Titu Maiorescu University*

*Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ  
Osmaniye Korkut Ata University*

*Prof. Dr. Mustafa METE  
Gaziantep University*

*Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ  
Selçuk University*



**Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN**  
**Sivas Cumhuriyet University**

**Prof. Dr. Nurdan KALAYCI**  
**Gazi 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. Dr. Abdulkerim DİLER**  
**Atatürk University**

**Assoc. Prof. Abdurahman KARAMAN**  
**Uşak 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. Ebubekir DİRİCAN Bilecik Şeyh**  
**Edebali University**

**Assoc. Prof. Dr. Eda ÖZ ÇELİKBAŞ**  
**Karabük University**

**Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ**  
**Atatürk University**

**Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL**  
**İğdir 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. Hasan TELLİ**  
**Mersin University**

**Assoc. Prof. Dr. Hüseyin ALKIŞ**  
**Adıyaman University**

**Assoc. Prof. Dr. İkramettin 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 Üni**

**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. Oqtay QULIYEV**  
Azerbaycan Devlet  
İktisat Universitysity

**Assoc. Prof. . Dr. Orhan TURAN**  
Batman University

**Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk RENÇBER**  
Gaziantep University

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

**Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA**  
Uşak University

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

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

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

**Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL**  
Nahçıvan Dövlət Universiteti

**Dr. Ajay B. GADICHA**  
Sant Gadge Baba Amravati University

**Dr. Amira TANDIROVIĆ GURSEL**  
Adana Alparslan Türkeş University of Science and  
Technology

**Dr. Andaç Kutay SAKA**  
Ordu University

**Dr. Aqil MEMMEDOV**  
Azerbaycan Devlet İktisat University

**Dr. Babak SAFAEI**  
Tsinghua University

**Dr. Elşen MEMMEDLİ**  
Azerbaycan Devlet İktisat University

**Dr. Esra KEŞER**  
Osmaniye Korkut Ata University

**Dr. Faisal SULTAN**  
Hazara University

**Dr. Ghanshyam BARMAN**  
Uka Tarsadia University

**Dr. Gülnar MİRZEYEVA**  
Azerbaycan Devlet İktisat University

**Dr. Gülşen MEHERREMOVA**  
Azerbaycan Diller University

**Dr. 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**  
**Adiyaman 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**

**GENERAL COORDINATOR**  
**Melike KAYA**



*Scientific Development and Innovative Approach*

***INTERNATIONAL DICLE  
SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION  
CONGRESS-XI***

*April 15-16, 2026 / Diyarbakır, Türkiye*

***Congress Program***

*Participant Countries: Türkiye, Algeria, Georgia, India, Malaysia,  
Morocco, Nigeria, Kazakistan, Kosovo, Serbia, Romania, Pakistan, Ukraine,  
Tunusia, Vietnam*

**Meeting ID: 890 6411 4000**

**Passcode: 769285**

**ZOOM LINK:**

<https://us06web.zoom.us/j/89064114000?pwd=v7UNIEUdBf0FnBOgppq5rC2i84bo7XU.1>

**IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY**





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

### **TECHNICAL INFORMATION**

Make sure your computer has a microphone and is working. You should be able to use screen sharing feature in Zoom. Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session. **Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih 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 oturma 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** oturma bağlanmış olmaları gerekmektedir. Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir. Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

### **TEKNİK BİLGİLER**

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





15.04.2026 / Hall-1, Session-1



Ankara Local Time



10<sup>00</sup> : 11<sup>15</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

HEAD OF SESSION: *Prof.Dr.Hasan AYAYDIN*

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Measuring The Research-Development, And Innovation Performance Of Türkiye Provinces Using Entropy And The Gri Relational Method	Prof.Dr.Hasan AYAYDIN Elif TAKMAZ	Gümüşhane University/Doğu Karadeniz Kalkınma Ajansı (DOKA)
Does Green Finance Contribute To Environmental Sustainability?	Prof.Dr.Hasan AYAYDIN	Gümüşhane University
The Critical Link Between Financial Technology Applications (Fintech), Access To Energy, And Environmental Sustainability	Prof.Dr.Hasan AYAYDIN	Gümüşhane University
Cloud Accounting Adoption Shaped By Marketing Discourse	Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK	Kafkas University
Tracing Advertising Manipulation In The Digital Corruption Literature	Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN	Kafkas University
Water Footprint Of Milk	Zir. Yük. Müh. Sadeddin BEKMEZCİ Prof. Dr. Uğur ZÜLKADİR	Selçuk University
Primary Meadows And Their Importance In Livestock Production	Prof. Dr. Ivan PAVLOVIĆ	Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia/SERBIA



15.04.2026/ Hall-2, Session-1



Ankara Local Time



10<sup>00</sup> : 11<sup>30</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Süleyman GÜLER**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Physical Activity Level And Professional Burnout Among Physical Education Teachers: The Case Of Gaziantep Province	Tuna Doğan KILINÇ Prof. Dr. Bekir MENDEŞ	Berrin Topçuoğlu Anatolian High School/Gaziantep University
Neurobrucellosis Presenting With Isolated Abducens Nerve Palsy And Papilledema: A Case Report	Assist. Prof. Dr. Süleyman GÜLER	Harran University
Constipation In Children: Etiology And Clinical Approach	Lect. Filiz TELSİZ	Gaziantep University
Thyroid Diseases In Children: Etiology And Clinical Approach	Lect. Filiz TELSİZ	Gaziantep University
Reconstruction Of A Large Fourniere Gangrene Defect Involving The Abdominal Wall And Genital Area	Dr. Borhan Mohammed Abdo RADMAN Dr. Burak Necati ISIK Prof. Dr. Canser Yilmaz DEMIR	Van Yuzuncu Yil University
Natural Modulation Of The Gut Microbiota In Patients With Food Allergies. Impact Of Alergiplant	Major Gheorghe GIURGIU 1 , Prof dr med Manole COJOCARU	Titu Maiorescu University/Deniplant-Aide Sante Medical Center/ROMANIA



15.04.2026/ Hall-3, Session-2



Ankara Local Time



10<sup>30</sup> : 12<sup>15</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

HEAD OF SESSION: *Dr. Merve TAFTALI KÖSEOĞLU*

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Investigation Of The Wear Behavior Of Polyethylene Glycol (Peg) Coating On Additively Manufactured Ti6al4v Biomaterial Under Different Loads	Dr. Merve TAFTALI KÖSEOĞLU	Erzurum Technical University
The Use And Effects Of Polymers In Onshore Drilling Operations	Kübra AKIN Prof. Dr. Fatma Deniz ÖZTÜRK	Dicle University
Investigation Of The Effect Of Ground Granulated Blast Furnace Slag On The Unconfined Compressive Strength Of Bentonite Soil	Dr. Bahadır KARABAS Assoc. Prof. Dr. Ali Ulvi UZER	Inonu University/Kayseri University
Performance Evaluation Of An Existing Reinforced Concrete Building And Strengthening Scenarios	İnş. Müh. Gamze AKIN Assist. Prof. Dr. Mustafa Halûk SARAÇOĞLU	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Geological And Mineralogical Characteristics Of Host Rocks Associated With The Aktepe Iron Mineralization (Northeastern Aksaray, Türkiye)	Mustafa Haydar TERZİ	Aksaray University
The Role Of 3D Printing Technology In The Design Of Educational Toys For Children Aged 4-6	Assoc. Prof. Dr. Cemal ÖZCAN Sena BİCAN	Karabük University



15.04.2026/ Hall-4, Session-2



Ankara Local Time



10<sup>30</sup> : 12<sup>30</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

HEAD OF SESSION: *Dr. Özlem KARAPINAR GÖK*

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Examining The Relationship Between Organizational Culture And Innovation Level In Aviation Enterprises	Gülse YETİŞİR Assist. Prof. Dr. Ahmet ERTEK	Kastamonu University/KTO Karatay University
The Impact Of Digital Transformation On Operational Safety In Aviation	Assist. Prof. Dr. Ahmet ERTEK Gülse YETİŞİR	Kastamonu University/KTO Karatay University
Social Aid, Settlement, And Protection Policies For Widowed Immigrant Women In The Ottoman Empire (1856–1918)	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK	Independent Researcher
Migration And Settlement Policies In The Early Republican Period: The Case Of Muş-Bulanık (1924-1945)	Dr. Özlem KARAPINAR GÖK	Independent Researcher
Public Relations And The Preservation Of Cultural Heritage In The Context Of Participation And Sustainability	Res. Assist. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	Bitlis Eren University



15.04.2026/ Hall-5, Session-2



Ankara Local Time



10<sup>30</sup> : 12<sup>00</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Characteristics Of The Ghazel Poetic Form In Bâkî's Divan	Assist. Prof. Dr. Zafer TOPAK	Karabük University
Mapping The Research Landscape Of Generative Artificial Intelligence In ELT: Evidence From Graduate Theses In Türkiye (2020–2026)	Res. Assist. Dr. Muhammed KÖK	Ondokuz Mayıs University
On Some Classes Of Arf Numerical Semigroup With Multiplicity Six	Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK Prof. Dr. Sedat İLHAN	Adıyaman University/Dicle University
Type Sequences Of Some Classes Of Arf Numerical Semigroups With Multiplicity Six	Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK Prof. Dr. Sedat İLHAN	Adıyaman University/Dicle University



15.04.2026/ Hall-6, Session-2



Ankara Local Time



10<sup>30</sup> : 12<sup>30</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000



Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A Review On Structures And Manufacturing Of 3D Woven Items	H. Ziya ÖZEK	Namık Kemal University
Classification Of Patterning Techniques Adopted For Woven Fabrics	Bilge BERKHAN KASTACI H. Ziya ÖZEK	Kahramanmaraş İstiklal University/Namık Kemal University
Field Evaluation Of Compacted Recycled Aggregate Layers For Pavement Subgrade Improvement	Dr. Sacit SARIMURAT	ASELSAN
A Systematic Analysis Of Prioritization Frameworks For The Renewal Of Aging Residential Buildings	Zafer ELBAN Harun TURKOGLU Atilla DAMCI	Istanbul Technical University
Effect Of Processing Parameters On The Wear Behavior Of Ti6Al4V Elı Alloy Fabricated Via Laser Powder Bed Fusion	Assist. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR	Erzurum Technical University



15.04.2026/ Hall-7, Session-3



Ankara Local Time

11<sup>00</sup> : 13<sup>00</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000

Passcode: 769285

HEAD OF SESSION: *Dr. Saima Shaheen*

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Big Data Analytics For Policy Decision-Making In Poverty Reduction	MUHAMMAD FAISAL	Allama Iqbal Open University/PAKISTAN
Precision Fertilization And Sustainable Practices For Environmental Protection	ELABBARI Chaimaa , Pr. Labjar Najoua , Oujidane El ouali , EL BOUZIDI Ahmed ,ZINAOUI Badre , Pr.EL Hajjaji soudad	Mohammed V University/MOROCCO
Smart Green Technologies And Environmental Innovations: Enhancing Public Health And Psychological Resilience In The Digital Age	MSc. Selvije Lajqi BSc.Florinda Vokshi Diana Vokshi	University "Haxhi Zeka"Pejë/KOSOVO
The Scientific Talks Of Rewriting The Code Of Medicine: From Concept To Cure, Current Advances, Clinical Successes, And Future Horizons In Gene Therapy	Nodar Sulashvili , Lali Patsia , Ada (Adel) Tadevosyan , Vira Kravchenko , Olga Shapoval , Marika Sulashvili , Igor Seniuk , Tamar Okropiridze Elene Petriashvili , David Aphkhazava	Medicine at Alte University/National UniversityUniversity of Georgia/GEORGIA/UKRAINE
Inhibition of Mild Steel Corrosion in Hydrochloric Acid (1M HCl) by 5,5'-bis(pyridine-2,6-diylbis(1,3,4-oxadiazole-5,2-diyl))bis(benzene-1,3-diamine): Experimental and Theoretical Investigation	Assiya Atif , Ilham Aichouch , Soukaina Ameer, Mohammed Lasri , Rachid Hsissou ,Youssef Edder , Anouar El Magri , Idouhli Rachid , Mohy Eddine Khadir , Abdesselam Abouelfida , Houssine Ait Sir	Chouaib Doukkali University/Cadi Ayyad University/Sultan Moulay Slimane University//MOROCCO
Production And Characterization Of Carbon Nanotubes From Biochar Under Microwave Irradiation	Faisal Nazir	THE UNIVERSITY OF AGRICULTURE/PAKISTAN
Thyroid Hormone Levels And Their Association With Plasma Zinc Levels Among Adolescent Afghan Refugees; A Cross-Sectional Study	Dr. Saima Shaheen Dr. Nabila Sher	Khyber Girls Medical College
2nitrophenol Adsorption In Batches Utilizing Lowcost Activated Carbon And Fixed-Bed Columns	Djellouli Amir Berredjem Yamina Yagoub Mohamed Guesmia Hadjer	Center for Scientific and Technical Research on Arid regions CRSTRA/University Badji Mokhtar/ Mohamed Khider University/ALGERIA



15.04.2026/ Hall-8, Session-3



Ankara Local Time

11<sup>00</sup> : 13<sup>00</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000

Passcode: 769285

HEAD OF SESSION: *Dr. Zubia Shah*

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Indigenous Clothing Costumes And Lifestyle Practices Of The Angami Tribe: A Cultural Review	Dr Madan Lal Regar , Mahi Rastogi , Pariza Bhalla , Pooja Sharma , Padmabala S	National Institute of Fashion Technology Jodhpur/INDIA
Role Of Hereditary Predisposition In Shaping Oxidative Responses To Exercise In Prediabetes	Dr. Zubia Shah	Khyber Girls Medical College/Pakistan.
Effect Of Antenatal Use Of High Energy Nutritional Supplements On Cardio Metabolic Risk Markers In Underweight Primi Gravidas	Kalsoom Tariq Hashim khan	Khyber Girls Medical College
Agricultural Practices For Efficient Nitrogen Management And Environmental Safety	ELABBARI Chaimaa , Pr. Labjar Najoua , EL Ouali Oujidane , ZINAOUI Badre , Pr.EL Hajjaji souad	Mohammed V University/MOROCCO
From Reality To Virtuality: Readiness Of Public And Private Institutions In Pakistan For The Metaverse Era	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ms. Zakra Ahmad	School of Architecture & Planning/PAKISTAN
Hydrochemical Characterization And Mineralization Processes Of Groundwater In The Dallol Bosso Alluvial Aquifer, Tillabéri, Niger	Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN Dr. Mamane Imrana CHAIBOU OUSMANE	University Abdou Moumouni
Impact Of Crude Oil Contamination On Soil Functionality And Phytoremediation Strategies : Case Study Of Agadem Site And Along The Pipeline Corridor, Niger	Dr. Ibrahim ELHADJI DAOU Dr. Roufai Haladou Oumarou Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN	Industry and Geology (EMIG) of Niamey
Effect Of Class 4 Laser Photobiomodulation Combined With Circulatory Exercise In Pain And Gait Performance Among Diabetic Neuropathy	Apoorva Pundric Dr. Adarsh Kumar Srivastav Dr. Khushboo Anjum	Chhatrapati Shahu Ji Maharaj university/INDIA



15.04.2026/ Hall-9, Session-3



Ankara Local Time

11<sup>00</sup> : 13<sup>00</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000

Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: DR. CHANDRA SHEKHAR KUMAR**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Cognitive Reserve In Low Back Pain: Establishing Reference Values Using The Cognitive Reserve Index Questionnaire	Sachin Verma Digvijay Sharma Adarsh Kumar Srivastav	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
“Evaluation of High-Intensity Laser Therapy Against Conventional Physiotherapy in Managing Pain and Functional Limitation in Plantar Fasciitis: A Randomized Controlled Trial”	Kritika Mahto Priya Jadon Chandrasekhar Kumar	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
Analysis Of Power And Flexibility Of Both Upper Limb And Lower Limb Among Physiotherapy Student : An Observational Study	Nisha Mahawar	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
Anti-Inflammatory Properties Of Biosurfactants Produced By Hydrocarbonoclastic Bacteria	Drifa YALAOUI-GUELLAL Lila HADIDI	University of Bouira/ALGERIA
Evaluating The Effectiveness Of Slums Versus Mmse For Cognitive Impairment Screening In An Indian Population: A Cross-Sectional Study	Nidhi Digvijay Sharma Adarsh Kumar Srivastav	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
Role Of Nutrition In Maintaining Good Health	Swathi. R, S. Rubin thara, E. Praveena, Hari nandhini. A	Bharath Institute of Higher Education And Research Chennai/INDIA
Discrepancy Between Perceived And Actual Multidimensional Physical Fitness Among University Students: Evidence Of Systematic Overestimation	ROHIT SINGH DR. CHANDRA SHEKHAR KUMAR	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
AI-Driven Drug Discovery: Transforming Pharmaceutical Research And Its Societal Implications	Tanzeela , Dr. Matloob Ahmad , Dr. Furqan Ahmad Saddique , Tanzeela Riaz	Government College University/PAKISTAN



15.04.2026/ Hall-10, Session-3



Ankara Local Time

11<sup>00</sup> : 12<sup>45</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000

Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: Dr. Naveen Kumar**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Optimizing Athletic Performance in Badminton: A Comparative Study of Core Strength and Endurance Training	Mohd Anas Arif Umesh Kumar Maurya	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
Assessment of Agility and Hand Grip Strength: A Comparative Study Between Cricket and Badminton Players	Arpit Verma Umesh Kumar Maurya	Chhatrapati Shahu ji Maharaj University/INDIA
The Bank Of Indochina's Influence On The State Budget Of Indochina	Duong To Quoc THAI M.A. Ly Thi Kim QUYEN M.A. Huynh Phuong NGHI	Dong Thap University/Vietnam
Socio-Political Awareness Of Political Education Students: Influencing Factors In The Era Of Digital Transformation	M.A. Ly Thi Kim QUYEN Tran Ngoc ANH Duong To Quoc THAI	Dong Thap University/Vietnam
Energy-Efficient Star-Ris-Assisted Uav Networks Using Deep Reinforcement Learning: Scma Vs. Pd-Noma	Benmeziane Imad-Ddine Ghomri Aicha Meghraoui	University of Tlemcen/ALGERIA
Four Point Internal Quilting Suture Technique For The Management Of Moderate To Severe Gynecomastia	Dr. Naveen Kumar	Yatharth Superspeciality Hospital, Greater Noida/INDIA
Electrochemical oxidation of s-Triazine using a BDD /carbon felt cell	FARAH I Hakima Mohamed Errami Rachid Ait Akbour	Ibn Zohr University



15.04.2026/ Hall-11, Session-3



Ankara Local Time

11<sup>00</sup> : 12<sup>45</sup>



Meeting ID: 890 6411 4000

Passcode: 769285

**HEAD OF SESSION: Dr. Samar Jamal Hassan Mahmoud**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Prevalence And Antibiotic Resistance Of Bacteria Responsible For Nosocomial Infections In A Hospital In Algeria	BERSALI Silia	University of Dr. YAHIA Fares/ALGERIA
Data Capitalization Of Laurus Nobilis L.: Therapeutic And Nutritional Valorization Of A Food And Medicinal Plant In The Central Plateau Of Morocco	Jaayefar, Fatima-ezzahra Dahmani, Jamila	Ibn Tofail University/MOROCCO
Labour Dynamics In Architectural Drawing Production: A Comparative Study Of Analogue And Digital Methods	Rasheed Sekore Busari Abdulhameed Folorunso Busari	Emmanuel Alayande University
Impact Of Innovative Technical Skill Acquisition On Mental Well-Being Among Youths In Rivers State, Nigeria	Dr. C.O. Ochogba Moses Umiaghe	Federal College of Education/NIGERIA
An Adaptive And Inclusive Usability Model For Mobility Applications For Visually Impaired Users	Dr. Samar Jamal Hassan Mahmoud Dr. Nada Ali Abozaid, Maria Fadhel Alfadhel , Albandari Zahid Alshammari, Kholoud Amin Said Eid, Rahma Mahmoud Ali Al-Rahail	Universiti Malaysia Terengganu/MALAYSIA
Synthesis, Crystal Structure And Biological Activity Of A Decavanadate Compound	Rawia NASRI Regaya KSIKSI Najet SRAIRI-ABID	University of Tunis El Manar/TUNUSIA
Simultaneous Removal Of Anionic And Cationic Dyes From Aqueous Solutions Using Nickel-Iron Layered Double Hydroxide Nanosheets	TAJAT Naoual, EL MOUHRI Wail, El HAYA OUI Widad, NADIF Iliass, TALEBI Jamal, BAKAS Idriss, TAMIMI Malika, ASSABBANE Ali, QOURZAL Samir	Ibn Zohr University

# PHOTO GALLERY

ISARC academy...  
ISARC academy MELİKE KAYA | Hall 1-Session 1 Filiz ASLAN ÇE... | Sadeddin Bekmezci | Hall-1, Hasan AYAYDIN

Otomatik Kaydet ✓ Pazarlama Söylemiyle Başlımlenen Bulut Muhasebe Benimsemesi • Son Değiştirilme Zamanı: 1 saat önce

Dosya Giriş Ekle Çiz Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Kaydet Gözden Geçir Görünüm Yardım Acrobat

Yapıştır Kopyala Yeni Slayt Copilot ile Yeni Slayt

Yazı Tipi Paragraf Şekiller Yerleştir Hızlı Stiller Bul ve Değiştir Yazı Tiplerini Değiştir Seç Düzenele Adobe Acrobat Ses Ekranlar Tasarım Önerileri Copilot

19

20


21

22

23

## Bulguların Pazarlama Söylemi Açısından Değerlendirilmesi

- Bu bağlamda pazarlama söylemi, teknolojik karmaşıklığı sadeleştiren, belirsizliği azaltan ve kullanıcı güvenini inşa eden bir mekanizma olarak benimseme sürecinde belirleyici rol oynamaktadır.



ISARC academy...  
ISARC academy MELİKE KAYA | Hall 1-Session 1 Filiz ASLAN ÇE... | Sadeddin Bekmezci | Hall-1, Hasan AYAYDIN

Sütün\_Su\_Ayak\_İzi - sunum - PowerPoint SADEDİN BEKMEZCİ

Dosya Giriş Ekle Çiz Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Kaydet Gözden Geçir Görünüm Yardım Acrobat

Kes Dışarıya Yeni Slayt Bölüm

Yazı Tipi Paragraf SmartArt'ın Dönüştür Veriye Dönüştür Hızlı Stiller Bul ve Değiştir Seç Düzenele Adobe Acrobat Ekranlar Document Cloud Adobe

13

14

15

16

## Başlıkların Süt Üretiminde Çevresel Riskler ve Yönetimsel Zorluklar

### TÜRKİYEDE SÜT SEKTÖRÜNÜN SU KULLANIMI

Süt değer zincirinde büyük miktarda suya ihtiyaç duyan dört adım vardır: (i) yem ham maddesi üretimi, (ii) yem üretimi, (iii) hayvancılık ve (iv) süt işleme (Şekil 2). Süt ürünlerinin dağıtımında, perakende satışında, tüketiminde ve bertarafında su kullanımı, üretim aşamalarının diğer bölümlerindeki (toplam su kullanımının %0.1'inden daha azdır) tüketimlere kıyasla önemsiz olduğu için bu rapora dahil edilmemiştir [13,14].

	Yem Hammaddesi	Yem Üretimi	Hayvancılık	Süt İşleme
Yeşil su kullanımı	Yüksek	Yok	Yüksek	Yok
Mavi su kullanımı	Yüksek	Düşük	Düşük	Hafif

Şekil 2: Süt tedarik zinciri üretim aşamalarında nispi ve doğrudan yeşil ve mavi su kullanımı. Yeşil su kullanımı, toprak nemi (yeşil su ayak izi) yoluyla yağış kullanımını anlamına gelir; mavi su ise yeraltı ve yüzey sularından (mavi su ayak izi) elde edilir.

Not eklemek için tıklayın

ISARC academy...

ISARC academy MELİKE KAYA

Hall 1-Session 1 Filiz ASLAN...

Hall-1, Hasan AYAYDIN

Sadeddin Bekmezci

3.Bildiri\_Ayaydin ve Takmaz - Microsoft Word

26	ELAZIĞ	0,33021	09	TUNCELI	0,33400
29	ÇANAKKALE	0,33797	70	ERZİNCAN	0,33463
30	ÇANKIRI	0,33786	71	BARTIN	0,33456
31	KÜTAHYA	0,33772	72	MUŞ	0,33439
32	DÜZCE	0,33768	73	GÜMÜŞHANE	0,33437
33	KARABÜK	0,33766	74	SİNOP	0,33425
34	ERZURUM	0,33752	75	BİNGÖL	0,33415
35	KIRKLARELİ	0,33746	76	SİİRT	0,33411
36	MALATYA	0,33745	77	AĞRI	0,33410
37	NEVŞEHİR	0,33743	78	BİTLİS	0,33409
38	MARDİN	0,33734	79	ARDAHAN	0,33398
39	ŞANLIURFA	0,33731	80	BAYBURT	0,33388
40	ZONGULDAK	0,33730	81	KARS	0,33387
41	KARAMAN	0,33707			

Windows'u Etkinleştir  
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.

SAYFA 14/27 7340 SÖZCÜK DİR

ISARC academy...

ISARC academy MELİKE KAYA

Hall 1-Session 1 Filiz ASLAN...

Hall-1, Hasan AYAYDIN

Sadeddin Bekmezci

2. Bildiri\_YEŞİL FINANS ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK - Microsoft Word

**Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere gelişmekte olan ülkelerde de enerji tasarrufu yoluyla çevresel kaliteyi iyileştirilmenin ekonomik kalkınmayı azalttığından (Alemzero vd., 2020), Kyoto Protokolü ve BM İklim Değişikliği Sözleşmesi (UNFCCC) dahil olmak üzere çoğu çalışma, iklim değişikliği zorluklarıyla etkin mücadelede yeterince başarılı olmayabilir (Chien vd., 2021). Bu yüzden, politika yapıcılar, hem sürdürülebilir kalkınmayı sağlama hem de çevresel bozulmayı önleme konusunda zorlu bir görevle karşı karşıyadır. Bu durum ülkeleri çevresel bozulmayla mücadele ile sürdürülebilir ekonomik büyümenin arasında bir denge oluşturmak için sera gazı emisyonlarını azaltmaya itmektedir (Zhang vd., 2021). Bu gelişeler neticesinde, küresel yeşil kalkınmanın sağlanması odak noktası haline geldi. Bu durum, yeşil finansın, iklim değişikliğiyle mücadeleyi amaçlayan hükümetlere ve politika yapıcılara çevresel korumayla ilgili projeler için finansal hizmetler, finansman kaynağı,**

3

Windows'u Etkinleştir  
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.

1. bildirin\_FİNANSAL TEKNOLOJİ UYGULAMALARI (FİNTECH), ENERJİYE ERİŞİM, ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARASINDAKİ KRİTİK BAĞLANTI - Microsoft Word

DÖNÜŞTÜRÜCÜ BİR GÜÇ OLARAK DURMAKTADIR (Ahmad vd., 2024).

**Genel olarak**, teknolojik gelişmelerin ve yenilik arayışının, enerji dönüşümü, enerjiye erişim ve **ekolojik** sürdürülebilirlik ile ilgili sorunların çözümünde önemli bir potansiyele sahip olduğu ileri sürülmektedir. Finansal teknolojilerin 2030 yılına kadar on iki trilyon dolar değerinde yıllık ekonomik çıktı üretebileceği tahmin edilmektedir (Lisha vd., 2023). Bu teknolojik çağda finans sektörü, kayda değer teknolojik gelişmelerin etkisiyle önemli dönüşümlerden geçmiştir. **Fintech**, finansal teknolojilerin kısa yoludur; fintech, finansal hizmetleri iyileştirmeyi, geliştirmeyi ve otomatikleştirmeyi amaçlayan dijital **inovasyonu** ve modern teknolojiyi tanımlar. Son yıllarda FinTech'teki gelişmeler finansal piyasaların dinamikleri ve yapısında devrim yaratmıştır. Finansal teknoloji kavramı, finansal piyasalar, kurumlar ve hizmetler üzerinde önemli etkiler yaratan finansal yenilikleri ve teknolojiye dayalı iş modellerini, türlerini ve uygulamalarını ifade eder (Financial Stability Board, 2017).

*Finansal teknoloji (Fintech) ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı, finansal*

Dijital Yolsuzluk Literatüründe Reklam Manipülasyonunun İzni Sürmek • Son Değiştirilme Zamanı: 22:48

Dosya Giriş Ekle Çiz Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Kaydet Gözden Geçir Görünüm Yardım Acrobat

Yapıştır Yeni Slayt Copilot ile Yeni Slayt

Şekiller Yerleştir Hızlı Stiller

Bul ve Değiştir Yazı Tiplerini Değiştir Seç

Create a PDF Dikte Ekentiler Tasarım Önerileri Copilot

1

2

3

4

5

Bu bağlamda literatürde "dijital yolsuzluk" kavramı giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Dijital reklamcılık ise dijitalleşmeden en yoğun biçimde etkilenen alanlardan biri olmasına rağmen, dijital yolsuzluk literatüründe çoğu zaman doğrudan değil, dolaylı biçimde ele alınmaktadır.

GİRİŞ

## Kabızlık Tanımı / Definition of Constipation

- ▶ Dışkılama sıklığında azalma
- ▶ Sert ve ağrılı dışkılama
- ▶ Zorlanma
- ▶ Fekal inkontinans eşlik edebilir
- ▶ Decreased frequency of defecation
- ▶ Hard and painful stools
- ▶ Straining and incomplete evacuation
- ▶ May be associated with fecal incontinence



Nörobruseloz en sık meningoensefalit şeklinde görülmekle birlikte miyelit, kranial sinir tutulumu ve psikiyatrik bulgular ile de prezente olabilir.

Bazı olgularda izole kranial sinir tutulumu gibi atipik prezentasyonlar görülebilir ve bu durum özellikle sistemik bulguların olmadığı hastalarda tanıyı zorlaştırmaktadır

Bu olguda, izole kranial sinir tutulumu ve papil ödem ile prezente olan, ancak tüm nörogörüntüleme ve nörofizyolojik incelemeleri normal bulunan bir nörobruseloz vakasının sunulması amaçlanmıştır.

Bu bağlamda, tanıda klinik şüphenin ve BOS bulgularının önemi vurgulanmaktadır.



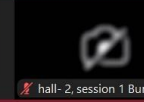
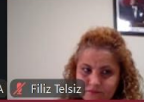
**Food allergy is a clinical and public health problem that affects up to 10% of the world's children and 4% of adults, therefore the condition is highly prevalent with the gut microbiota having distinct roles.**

**In recent years, there has been increasing interest in how dysregulation of resident microbial communities (i.e. dysbiosis) may be associated with food allergy risk.**

**Gut dysbiosis likely precedes the development of food allergy, and the timing of such dysbiosis is critical.**

**Gut microbiota may affect food allergy susceptibility by modulating type 2 immunity, influencing immune development and tolerance, regulating eosinophil populations, and promoting intestinal barrier function.**

3 atanmamış katılımcı



Otomatik Kaydet  DİCLE SU... bu bilgisayar konumuna kaydedildi

Dosya Giriş Ekle Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Kaydet Gözden Geçir Görünüm Yardım Kaydet Teams'de Sun Paylaş

Yapıştır Yeni Slayt Sıfırla Bölüm Pano Yazı Tipi Paragraf Çizim Şekiller Yerleştir Hızlı Stiller Çizim Şekil Dolgusu Şekil Ana Hattı Şekil Efektleri Bul Değiştir Seç Düzenleme Ekleniler Tasarımcı

13 14 15 16 17

**Ölçeğin Güvenirlilik Analizine İlişkin Bulgular**

Tükenmişlik ölçeğinin alt boyutlarının güvenilirliği Cronbach's Alpha katsayısı ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda tüm alt boyutların Cronbach's Alpha değerleri 0,70'in üzerinde bulunmuş ve ölçeğin yüksek güvenilirlik sağladığı belirlenmiştir.

Tabloda, tükenmişlik ölçeğinin üç alt boyutunun (Duygusal Tükenme, Duyarsızlaşma ve Kişisel Başarı) Cronbach's Alpha değerlerini göstermektedir.

Alt Boyut	Madde Sayısı	Cronbach's Alpha
Duygusal Tükenme	9	0,939
Duyarsızlaşma	5	0,876
Kişisel Başarı	8	0,928

6 atanmamış katılımcı

PowerPoint Sunusu-Dicle Kongre - PowerPoint

Dosya Giriş Ekle Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi Gözden Geçir Görünüm Yardım Ne yapmak istediğinizi söyleyin Paylaş

# Başlık eklemek için tıklayın

**Sondaj çamuru**  
Sondaj çamuru, sondaj sırasında kullanılan ve kuyunun güvenli, verimli şekilde açılmasını sağlayan özel bir akışkandır.

**Görevleri;**

- Formasyon basınçlarını dengelemek
- Kuyu dibini temizlemek
- Kuyuyu kesintilerden ve yıkıntılardan temizlemek
- Matkap ve sondaj dizisini soğutmak ve yağlamak
- Kesilen parçacıkları askıda tutmak ve yüzeye çıkarmak

Not eklemek için tıklayın

Merve Taftalı Köseoğlu - Hall Ali Ulvi ÜZER Hall-3, Session-2 Hall-3 Cemal Özcan Sena Bican Hall-3 Hall 3- Mustafa Haydar Terzi Hall-3, Gamze AKIN

SLAYT\_Özet - PowerPoint

DOSYA GİRİŞ EKLE TASARIM GEÇİŞLER ANIMASYONLAR SLAYT GÖSTERİSİ GÖZDEN GEÇİR GÖRÜNÜM EndNote X8 ACROBAT

## ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel bir atık olan yüksek fırın cürufunun (YFC), bentonit (BT) zeminin serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda zemin numunesine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında YFC ilave edilerek stabilize karışım numuneleri hazırlanmıştır. Katkısız ve katkılı zemin numuneleri ASTM D698 standardına göre **proktor deneyine** tabi tutulduktan sonra maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevaları tespit edilmiştir. Belirlenen muhtevalarda hazırlanan numunelere 7 günlük kür süresi sonrasında ASTM D2166 standardına göre **serbest basınç deneyine** tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda; **karışımlarda YFC oranı arttıkça, optimum su muhtevaları değerinin arttığı ve maksimum kuru birim hacim değerinin azaldığı tespit edilmiştir.** Ayrıca; YFC ilave edilen bütün numunelerin serbest basınç dayanımları katkısız zemine kıyasla daha yüksek elde edilmiştir. %5, %10, **%15** ve %20 oranlarında YFC ilave edilerek hazırlanan karışımlarda katkısız zemine kıyasla mukavemet değerinde sırasıyla, % 32,14; % 101,66; **% 165,61** ve % 114,91 oranında artış elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında en büyük mukavemet değeri % 15 YFC içeren numunelerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bentonit zeminin stabilizasyonunda YFC kullanılmasının zemin mukavemetini iyileştireceği, zemin iyileştirmesine yönelik faaliyetlerde çeşitli katkı malzemelerinin araştırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## GİRİŞ

- Yapı güçlendirme, mevcut yapıların dayanım ve süneklik özelliklerini artırarak deprem performansını iyileştirmeyi amaçlayan önemli bir mühendislik uygulamasıdır. Türkiye’de mevcut yapı stokunun büyük bir kısmı eski yönetmeliklere göre inşa edildiğinden, bu yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi kritik önem taşımaktadır.
- Literatürde yapılan çalışmalar, özellikle perde duvarlar ve FRP gibi modern güçlendirme yöntemlerinin yapı performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ayrıca eski yapıların düşük malzeme kalitesi ve yetersiz tasarım nedeniyle yüksek deprem riski taşıdığı vurgulanmaktadır.
- Bu çalışmada, bir betonarme yapının deprem performansı incelenmiş ve iki farklı güçlendirme yöntemi teknik açıdan karşılaştırılmıştır.

### Lokal Jeoloji - Yan Kayaçlar - Gabro

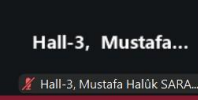
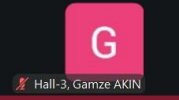
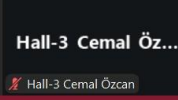
Mamasun ofiyolitik karışığı olarak adlandırılan ofiyolitik kayaçlar, gabbro, pegmatitik gabbro, diyabaz, çört ve serpantinlit karmaşığında oluşmakta ve OAM'nin en üst bölümünü oluşturan Bozğaldağ formasyonu üzerine tektonik dokanakla yer almaktadır (Atabey 1989; Göncüoğlu vd. 1992; Göncüoğlu ve Türeli, 1993; Dönmez vd. 2005).

Birim, Seymen (1982)'nin Karakaya ultramafitinin bir bölümü, Ayhan ve Papak (1988)'in ofiyolitik karmaşığı ve Yıldız vd. (2022)'nin ideal bir ofiyolit dizisi özelliğı göstermediğini belirttiğı ve okyanusal litosferin üst bölümlerine ait kayaçları içeren (alttan eksik/kesik ofiyolit dizisi) Akmezar ofiyoliti ile denestirilebilir. Birimin yerleşim yaşının Üst Kretase olduğu belirtilmektedir (Ayhan ve Papak 1988; Göncüoğlu vd. 1992; Göncüoğlu ve Türeli, 1993; Dönmez vd. 2005; Yıldız vd. 2022).

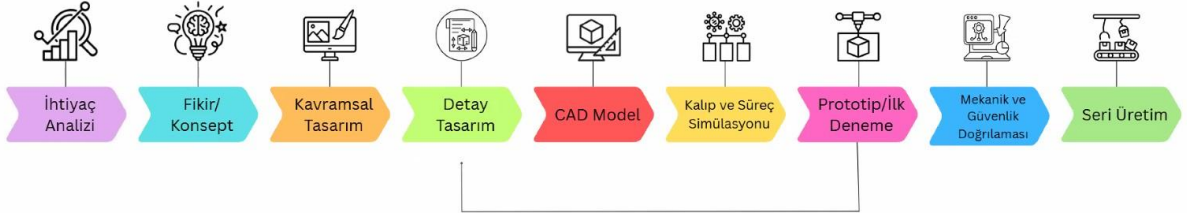
Çalışma alanında bu birimi temsilen çoğunlukla koyu yeşilimsi-siyahimsi renklere, ince-orta taneli yer yer iri taneli ve sert yapıda gabrolar gözlenir.

Mikroskobik incelemeler gabroların, ince-orta taneli ve taneli dokuda plajiyoklaz, hornblend, piroksen ve opak minerallerden oluştuğunu ve kayaç içerisinde epidotlaşma türü alterasyonların geliştiğini göstermiştir.





## GELENEKSEL ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN SÜRECİ



- Süreç doğrusal ve katıdır
- Tasarım değişiklikleri maliyetlidir
- Kullanıcı geri bildirim sınırlıdır

ISARC academy...

ISARC academy MELİKE KAYA

Merve Taftalı Köseoğlu - Hall

Ali Ulvi UZER Hall-3, Session...

Hall-3, Kübra AKIN

Hall-3 Cemal Özcan

Hall-3 Cemal Özcan

Sena Bican Hall-3

2026\_D.Bakır[Protected View] - PowerPoint

Dosya Giriş Ekle Tasarım Geçişler Animasyonlar Slayt Gösterisi 2 kişi bekleme odasına girdi Görüntüle Acrobat Paylaş

### Coating process

In this study, a polymeric coating was applied onto the Ti-6Al-4V substrate. High-molecular-weight polyethylene glycol (PEG) was utilized as the precursor chemical in the preparation of the coating solution. To enhance the adhesion of the PEG to the metallic substrate, PEG-400 was incorporated into the mixture. PEG-400 is a low-molecular-weight, water-soluble liquid polymer that acts as a plasticizer and a heat transfer fluid, controlling the drying process and retaining moisture during thermal treatment. The coating solution was formulated by adjusting the PEG to PEG-400 weight ratio to 1:0.5 and dissolving the constituents in distilled water. Finally, the resulting solution was applied to the substrate via the dip-coating method.

The dip-coating procedure was carried out using a PCTL0.01 Dip Coater housed at the High Technology Application and Research Center (YÜTAM) of Erzurum Technical University. The samples were immersed into the coating solutions with a constant withdrawal rate of 10 mm/min and maintained in the solution for 5 minutes. The coating process was subsequently completed by curing the specimens in an oven at 150°C for approximately 24 hours.

1 atanmamış katılımcı

app.zoom.us ekranınızı paylaşıyor. Paylaşmayı durdur Sizde

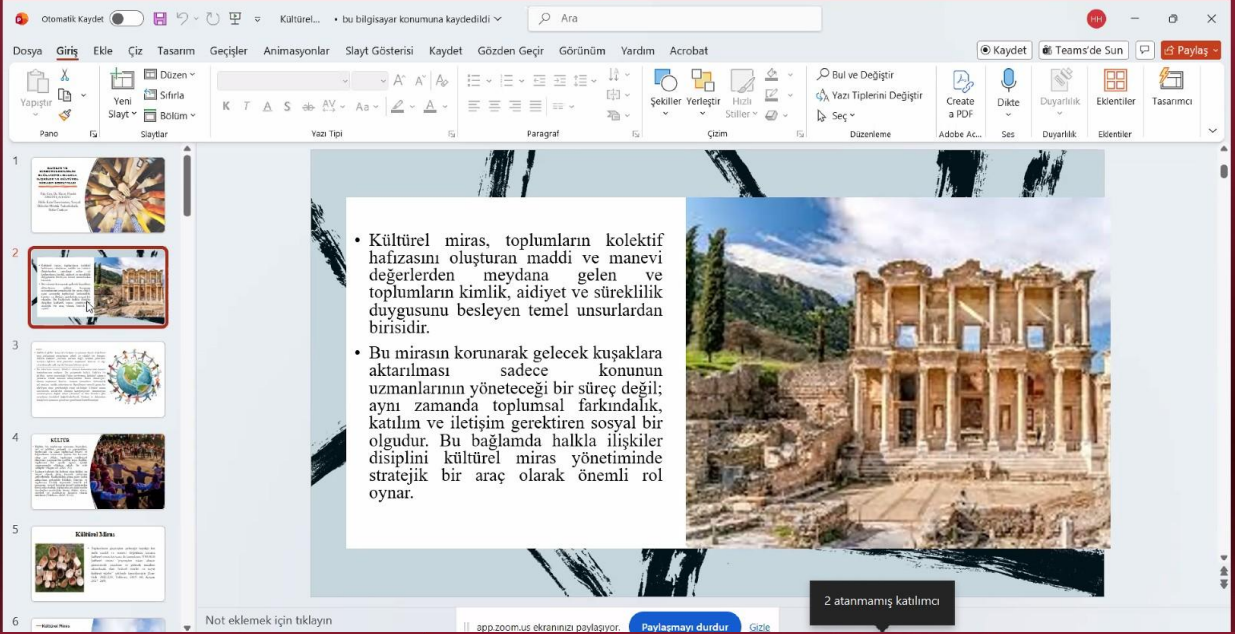
ISARC academy...

ISARC academy MELIKE KAYA

Hall-4 Dr. Özlem KARAPINAR...

H.Hande ERGİN ÇAĞATAY

Hall-4, Gülse yetişir



- Kültürel miras, toplumların kolektif hafızasını oluşturan maddi ve manevi değerlerden meydana gelen ve toplumların kimlik, aidiyet ve süreklilik duygusunu besleyen temel unsurlardan birisidir.
- Bu mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması sadece konunun uzmanlarının yöneteceği bir süreç değil; aynı zamanda toplumsal farkındalık, katılım ve iletişim gerektiren sosyal bir olgudur. Bu bağlamda halkla ilişkiler disiplini kültürel miras yönetiminde stratejik bir araç olarak önemli rol oynar.

ISARC academy...

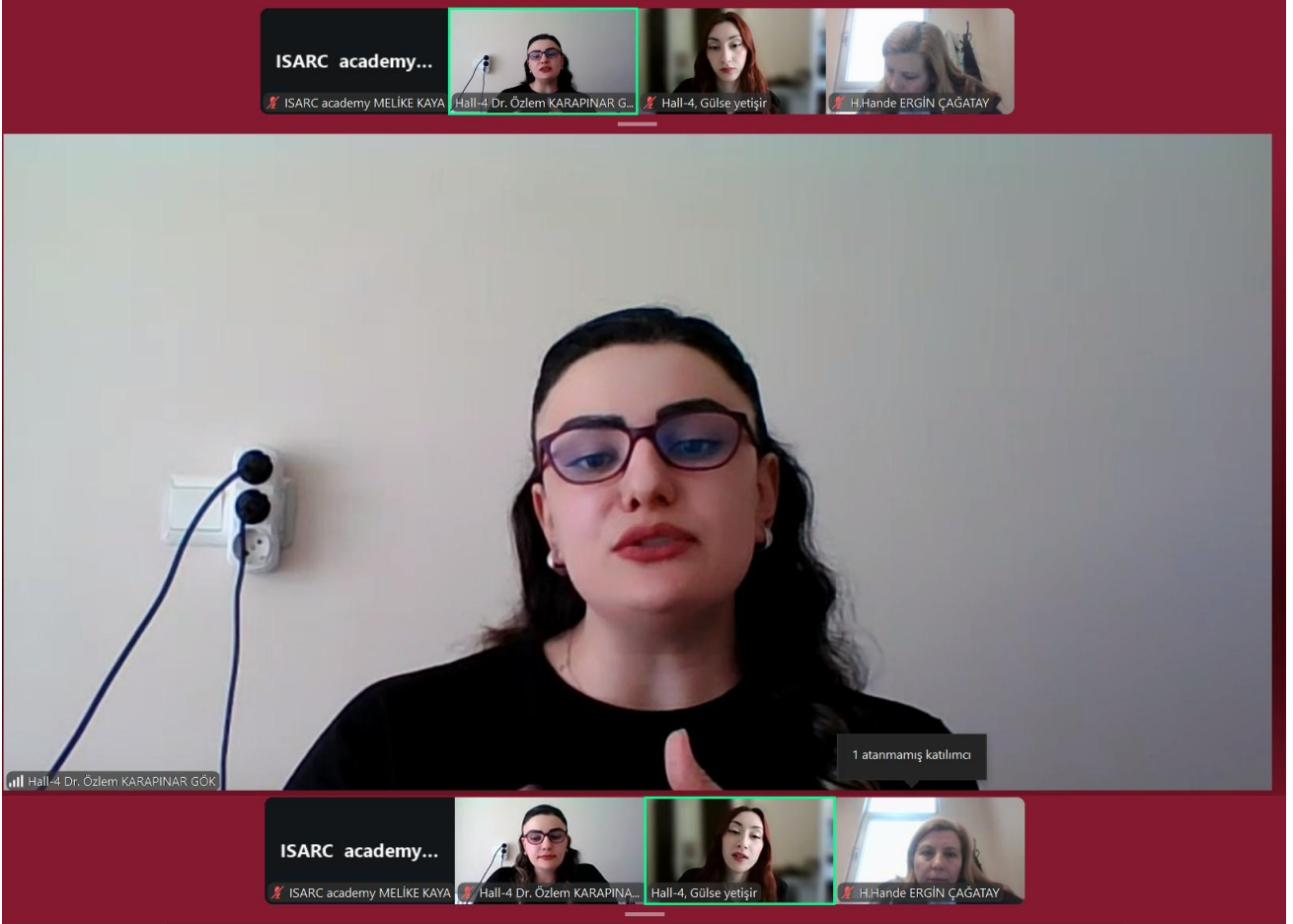
ISARC academy MELIKE KAYA

Hall-4 Dr. Özlem KARAPINAR G...

H.Hande ERGİN ÇAĞATAY

Hall-4, Gülse yetişir





## Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, havacılık sektöründe çalışanların dijital dönüşüm düzeyleri ile emniyetli davranışları arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bu kapsamda, dijital dönüşümün çalışan davranışları üzerindeki etkisi değerlendirilerek, emniyetli davranışları ne ölçüde ve hangi yönde etkilediği ortaya konulmaktadır.

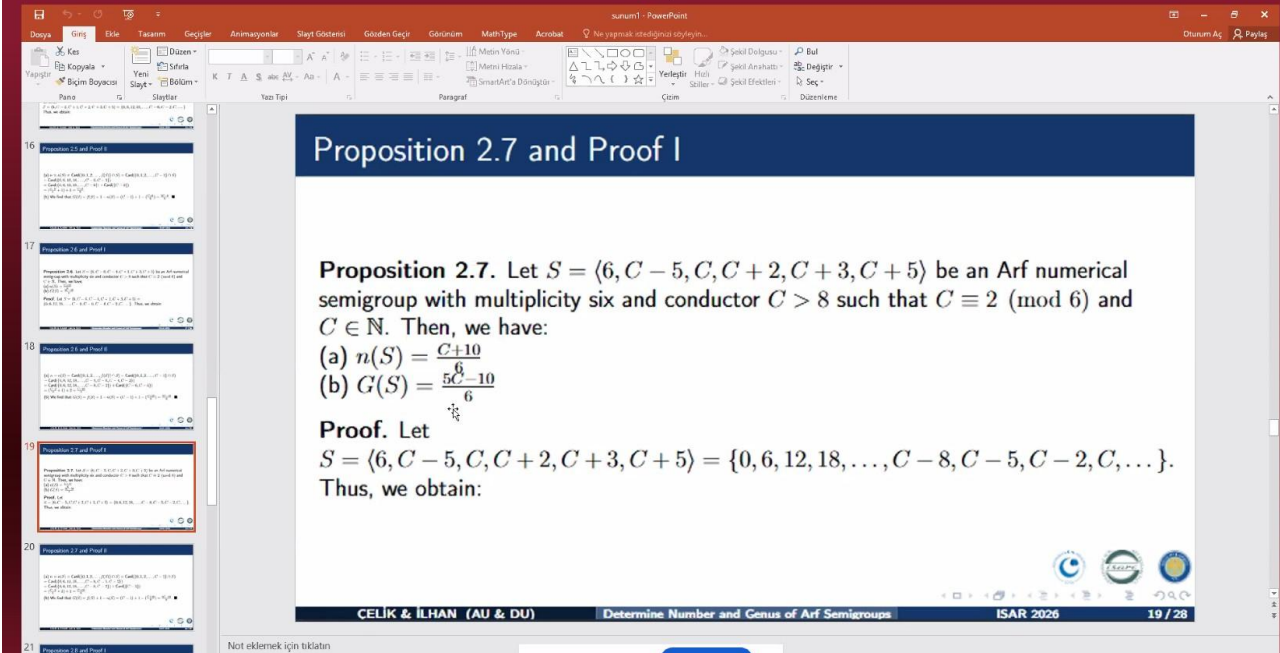
Ayrıca araştırma, elde edilen bulgular doğrultusunda dijital dönüşüm uygulamalarının havacılık sektöründe emniyetin artırılmasına nasıl katkı sağlayabileceğine ilişkin çıkarımlar sunmayı ve bu alandaki literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.



**Table 5. Distribution of the Research Methods and Designs**

Methodology	Research design	Numbers
Quantitative Method	Quasi-experimental	4
Qualitative Method	Phenomenological design	1
	Longitudinal qualitative design	1
	Case design	5
	Interpretive meta-synthesis approach	
Mix-method	Explanatory mix-method	13

3 atanmamış katılımcı

**Proposition 2.7 and Proof I**

**Proposition 2.7.** Let  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have:

(a)  $n(S) = \frac{C+10}{6}$   
 (b)  $g(S) = \frac{5C-10}{6}$

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 5, C - 2, C, \dots\}$ . Thus, we obtain:

CELİK & İLHAN (AU & DU) Determine Number and Genus of Arf Semigroups ISAR 2026 19 / 28

## BÂKÎ DİVAN'INDA GAZEL NAZİM ŞEKLİNİN ÖZELLİKLERİ

### 5. Mücevher gibi kıymetli olduğu için az söylenmelidir

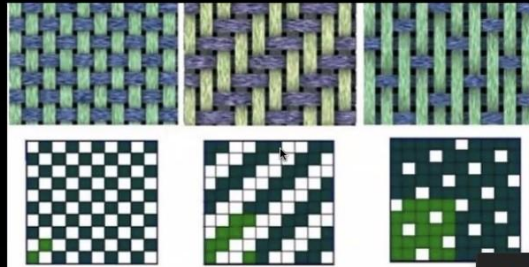
Bâkî, gazelin çok fazla söylenmek suretiyle değerinin düşürülmemesi gerektiğini hatırlatır; zira ona göre güzel söz mücevherdir/incidir ve bu değerli taşlar da çok bulunmaz:

*Çog olmaz bu tarza gazel Bâkıyâ*

*Güzel söz güherdir güher az olur (G.112/5)*

1 atanmamış katılımcı

Dokuma kumaşlarda örgü, çözüğü ve atkı ipliklerinin belirli bir düzen ve tekrar sistemi içinde yerleşmesiyle oluşan temel tasarım unsurudur. Örgü yalnızca estetik bir görünüm sağlamaz; aynı zamanda kumaşın mekanik özelliklerini, üretim süreçlerini ve kullanım performansını doğrudan etkileyen mühendislik temelli bir yapıdır.

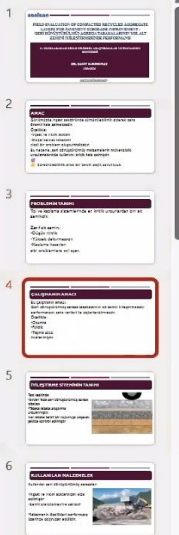
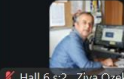


BEZAYAGI ÖRGÜSÜ

DİMİ ÖRGÜSÜ

SATEN ÖRGÜSÜ

4 atanmamış katılımcı



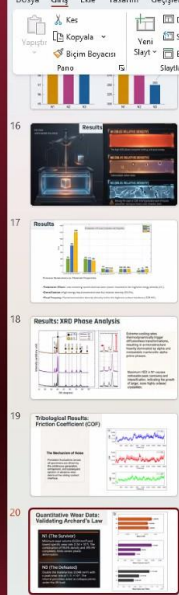
## ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı:  
Geri dönüştürülmüş agrega tabakalarının alt zemin iyileştirmedeki performansını saha verileri ile değerlendirmektir.

Özellikle:

- Oturma
  - Rijitlik
  - Taşıma gücü
- incelenmiştir.

Not eklemek için tıklayın



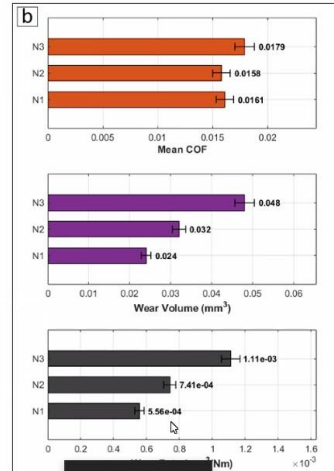
## Quantitative Wear Data: Validating Archard's Law

### N1 (The Survivor)

Minimum wear volume ( $0.024 \text{ mm}^3$ ) and lowest specific wear rate ( $5.56 \times 10^{-4}$ ). The combination of 99.6% density and 395 HV completely limits severe plastic deformation.

### N3 (The Defeated)

Double the material loss ( $0.048 \text{ mm}^3$ ) with a peak wear rate of  $1.11 \times 10^{-3}$ . The internal porosities acted as collapse points under the 3N load.



3 atanmış katılımcı

Not eklemek için tıklayın

## 3B Dok. Tezgahları



Meeting controls bar showing participants: H-7 Dr Faisal Moderator, iPhone, priya jadon, hall-9, session-3, Tanzeela, Kholoud Amin, Drifa YG.

## Phase I: Pilot Study

Table 1: Reliability Test for Phase I Pilot Study

Variables	Cronbach's Alpha	# Items
Visual Design	0.853	6
Navigation Design	0.777	6
Information Design	0.830	4
Accessibility	0.741	6
Ease of Use	0.841	7
Personalization and Customization	0.758	7
User Satisfaction	0.813	6
Independence	0.732	5
Learnability	0.793	6
Visibility and Readability	0.707	5
All	0.716	58

Table 2: Kaiser-Meyer-Olkin Test for User Interface Components

User Interface Components	Kaiser-Meyer-Olkin Test	Bartlett's Test of Sphericity	Sig.
Visual Design	0.760	53.074	0.000
Navigation Design	0.660	20.834	0.002
Information Design	0.619	17.612	0.007

Table 6.9: Kaiser-Meyer-Olkin Test for Usability Elements

Usability Elements	Kaiser-Meyer-Olkin Test	Bartlett's Test of Sphericity	Sig.
Accessibility	0.766	701.887	0.00
Ease of Use	0.715	42.790	0.00
Personalization and Customization	0.808	408.715	0.00
User Satisfaction	0.748	48.518	0.00

Table 6.18: Kaiser-Meyer-Olkin Test for Elements of Visually Impaired Users' Needs

Elements of VIUs' Needs	Kaiser-Meyer-Olkin Test	Bartlett's Test of Sphericity	Sig.
Independence	0.524	653.349	0.000
Learnability	0.660	24.439	0.000
Visibility and Readability	0.672	20.264	0.002

Cronbach's Alpha >0.70, indicating a high level of internal consistency, reliability, and overall acceptability for this study (Cronbach, 1951).

ISARC academy... | H-7 Dr Faisal Moderator | Rohit Singh, hal... | priya jadon | C

ISARC academy MELIKE KAYA iPhone | H-7 Dr Faisal Moderator | Rohit Singh, hall: 9, session-3 | priya jadon | Tanzeela, hall-9, session-3

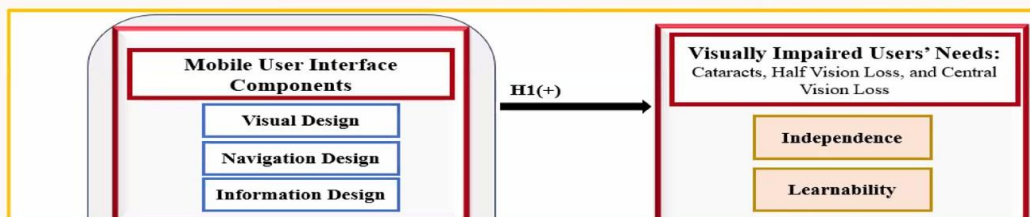
Présentée par: BERSALI Silla | Doctorante  
 Promoteur: Dr. RAHAL Mohamad | MCA  
 Co.promoteur: Dr. SALHI Omar | MCA

1 atanmamış katılımcı

ISARC academy... | SAMAR MAHMOUD/Se... | Rohit Singh, hal... | H-7 Dr Faisal Moderator | iPhone | priya jadon

## Research Methodology

### Phase I: E-Transportation Usability



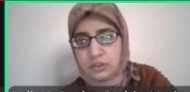
### Objective :

1. To evaluate e-transportation mobile user interfaces and usability for visually impaired users.

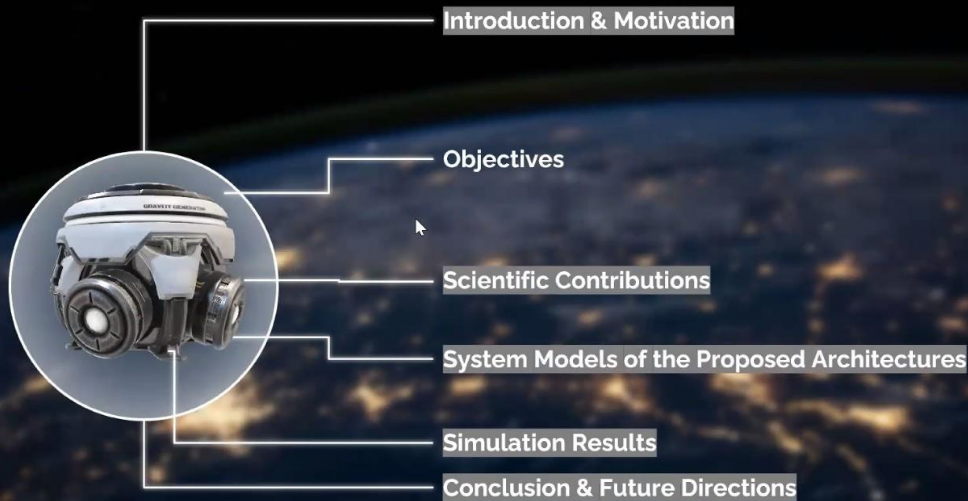
Figure 5. Usability model

**Criteria :**

Population: 40,316 visually impaired individuals in Jordan  
 Three (3) specific categories of visual impairment: cataracts, half vision



# SUMMARY



## 1. INTRODUCTION

**Establishment:** Founded in 1875, the Bank of Indochina (BIC) acted as a "colonial central bank" with exclusive privileges.

**Core Role:** It was the "architect of public debt" and a central axis in French colonial exploitation.

**Research Objective:** To analyze how the BIC used financial instruments to transfer economic surplus from Indochina to France, transforming the colonial budget into a tool for French finance capital.



## INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

**KONU:** Kongre Katılımcı Bilgisi

**26.04.2026**

### İLGİLİ MAKAMA

11.ULUSLARARASI DİCLE BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE INOVASYON KONGRESİ 15-16 NİSAN 2026 tarihleri arasında DİYARBAKIR 'de online olarak 14 farklı ülkeden (Türkiye:33 ve diğer Ülkeler:41 Toplam:74 akademisyen/araştırmacıların katılımı ile gerçekleşmiştir. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “ Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurtdışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışından en az 5 ülkeden farklı tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır. “ değişikliğine ve Doçentlik kriterlerine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir.

Saygılarımla

  
**Sefa Salih BİLDİRİCİ**  
HEAD OF İSARC

# CONFERENCE PAPERS

AUTHORS	TITLE	NO
Prof.Dr.Hasan AYAYDIN Elif TAKMAZ	Measuring The Research-Development, And Innovation Performance Of Türkiye Provinces Using Entropy And The GRI Relational Method	1-19
Prof.Dr.Hasan AYAYDIN	Does Green Finance Contribute To Environmental Sustainability?	20-27
Prof.Dr.Hasan AYAYDIN	The Critical Link Between Financial Technology Applications (Fintech), Access To Energy, And Environmental Sustainability	28-35
Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK	Cloud Accounting Adoption Shaped By Marketing Discourse	36-52
Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN	Tracing Advertising Manipulation In The Digital Corruption Literature	53-65
Zir. Yük. Müh. Sadeddin BEKMEZCİ Prof. Dr. Uğur ZÜLKADİR	Water Footprint Of Milk	66-81
Prof. Dr. Ivan PAVLOVIĆ	Primary Meadows And Their Importance In Livestock Production	82
Tuna Doğan KILINÇ Prof. Dr. Bekir MENDEŞ	Physical Activity Level And Professional Burnout Among Physical Education Teachers: The Case Of Gaziantep Province	83-88
Assist. Prof. Dr. Süleyman GÜLER	Neurobrucellosis Presenting With Isolated Abducens Nerve Palsy And Papilledema: A Case Report	89-92
Lect. Filiz TELSİZ	Constipation In Children: Etiology And Clinical Approach	93-94
Lect. Filiz TELSİZ	Thyroid Diseases In Children: Etiology And Clinical Approach	95-96
Dr. Borhan Mohammed Abdo RADMAN Dr. Burak Necati ISIK Prof. Dr. Canser Yılmaz DEMİR	Reconstruction Of A Large Fourniere Gangrene Defect Involving The Abdominal Wall And Genital Area	97-102
Major Gheorghe GIURGIU Prof dr med Manole COJOCARU	Natural Modulation Of The Gut Microbiota In Patients With Food Allergies. Impact Of Allergiplant	103
Dr. Merve TAFTALI KÖSEOĞLU	Investigation Of The Wear Behavior Of Polyethylene Glycol (Peg) Coating On Additively Manufactured Ti6Al4V Biomaterial Under Different Loads	104-105
Kübra AKIN Prof. Dr. Fatma Deniz ÖZTÜRK	The Use And Effects Of Polymers In Onshore Drilling Operations	106-107
Dr. Bahadır KARABAS Assoc. Prof. Dr. Ali Ulvi UZER	Investigation Of The Effect Of Ground Granulated Blast Furnace Slag On The Unconfined Compressive Strength Of Bentonite Soil	108-118
İnş. Müh. Gamze AKIN Assist. Prof. Dr. Mustafa Haluk SARAÇOĞLU	Performance Evaluation Of An Existing Reinforced Concrete Building And Strengthening Scenarios	119-133
Mustafa Haydar TERZİ	Geological And Mineralogical Characteristics Of Host Rocks Associated With The Aktepe Iron Mineralization (Northeastern Aksaray, Türkiye)	134-135
Assoc. Prof. Dr. Cemal ÖZCAN Sena BİCAN	The Role Of 3D Printing Technology In The Design Of Educational Toys For Children Aged 4-6	136-150

AUTHORS	TITLE	NO
Gülse YETİŞİR Assist. Prof. Dr. Ahmet ERTEK	Examining The Relationship Between Organizational Culture And Innovation Level In Aviation Enterprises	151-160
Assist. Prof. Dr. Ahmet ERTEK Gülse YETİŞİR	The Impact Of Digital Transformation On Operational Safety İn Aviation	161-166
Dr. Özlem KARAPINAR GÖK	Social Aid, Settlement, And Protection Policies For Widowed Immigrant Women İn The Ottoman Empire (1856–1918)	167-169
Dr. Özlem KARAPINAR GÖK	Migration And Settlement Policies İn The Early Republican Period: The Case Of Muş-Bulanık (1924-1945)	170-171
Res. Assist. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY	Public Relations And The Preservation Of Cultural Heritage İn The Context Of Participation And Sustainability	172-181
Assist. Prof. Dr. Zafer TOPAK	Characteristics Of The Ghazel Poetic Form İn Bâkî's Divan	182-183
Res. Assist. Dr. Muhammed KÖK	Mapping The Research Landscape Of Generative Artificial Intelligence İn ELT: Evidence From Graduate Theses İn Türkiye (2020–2026)	184
Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK Prof. Dr. Sedat İLHAN	On Some Classes Of Arf Numerical Semigroup With Multiplicity Six	185-190
Assist. Prof. Dr. Ahmet ÇELİK Prof. Dr. Sedat İLHAN	Type Sequences Of Some Classes Of Arf Numerical Semigroups With Multiplicity Six	191-197
H. Ziya ÖZEK	A Review On Structures And Manufacturing Of 3D Woven Items	198-217
Bilge BERKHAN KASTACI H. Ziya ÖZEK	Classification Of Patterning Techniques Adopted For Woven Fabrics	218-236
Dr. Sacit SARIMURAT	Field Evaluation Of Compacted Recycled Aggregate Layers For Pavement Subgrade Improvement	237
Zafer ELBAN Harun TURKOGLU Atilla DAMCI	A Systematic Analysis Of Prioritization Frameworks For The Renewal Of Aging Residential Buildings	238
Assist. Prof. Dr. Hilmi TEKDIR	Effect Of Processing Parameters On The Wear Behavior Of Ti6Al4V Elı Alloy Fabricated Via Laser Powder Bed Fusion	239-249
MUHAMMAD FAISAL	Big Data Analytics For Policy Decision-Making İn Poverty Reduction	250
ELABBARI Chaimaa , Pr. Labjar Najoua , Oujidane El ouali , EL BOUZIDI Ahmed ,ZINAOUI Badre , Pr.EL Hajjaji souad	Precision Fertilization And Sustainable Practices For Environmental Protection	251
MSc. Selviqe Lajqi BSc.Florinda Vokshi Diana Vokshi	Smart Green Technologies And Environmental Innovations: Enhancing Public Health And Psychological Resilience İn The Digital Age	252
Nodar Sulashvili , Lali Patsia , Ada (Adel) Tadevosyan , Vira Kravchenko , Olga Shapoval , Marika Sulashvili , Igor Seniuk , Tamar Okropiridze Elene Petriashvili , David Aphkhazava	The Scientific Talks Of Rewriting The Code Of Medicine: From Concept To Cure, Current Advances, Clinical Successes, And Future Horizons In Gene Therapy	253-322
Assiya Atif , İlham Aichouch , Soukaina Ameer, Mohammed Lasri , Rachid Hsissou , Youssef Edder , Anouar El Magri , Idouhli Rachid , Mohy Eddine Khadir , Abdesselam Abouelfida , Houssine Ait Sir	Inhibition of Mild Steel Corrosion in Hydrochloric Acid (1M HCl) by 5,5'- (pyridine-2,6-diylbis(1,3,4-oxadiazole-5,2-diyl))bis(benzene-1,3-diamine): Experimental and Theoretical Investigation	323-324

AUTHORS	TITLE	NO
Faisal Nazir	Production And Characterization Of Carbon Nanotubes From Biochar Under Microwave Irradiation	325
Dr. Saima Shaheen Dr. Nabila Sher	Thyroid Hormone Levels And Their Association With Plasma Zinc Levels Among Adolescent Afghan Refugees; A Cross-Sectional Study	326-327
Djellouli Amir Berredjem Yamina Yagoub Mohamed Guesmia Hadjer	2nitrophenol Adsorption In Batches Utilizing Lowcost Activated Carbon And Fixed-Bed Columns	328
Dr Madan Lal Regar , Mahi Rastogi , Pariza Bhalla , Pooja Sharma , Padmabala S	Indigenous Clothing Costumes And Lifestyle Practices Of The Angami Tribe: A Cultural Review	329-330
Dr. Zubia Shah	Role Of Hereditary Predisposition In Shaping Oxidative Responses To Exercise In Prediabetes	331
Kalsoon Tariq Hashim khan	Effect Of Antenatal Use Of High Energy Nutritional Supplements On Cardio Metabolic Risk Markers In Underweight Primi Gravidas	332
ELABBARI Chaimaa , Pr. Labjar Najoua , EL Ouali Oujidane , ZINAOUI Badre , Pr.EL Hajjaji soud	Agricultural Practices For Efficient Nitrogen Management And Environmental Safety	333
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ms. Zakra Ahmad	From Reality To Virtuality: Readiness Of Public And Private Institutions In Pakistan For The Metaverse Era	334
Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN Dr. Mamane Imrana CHAIBOU OUSMANE	Hydrochemical Characterization And Mineralization Processes Of Groundwater In The Dallol Bosso Alluvial Aquifer, Tillabéri, Niger	335-344
Dr. Ibrahim ELHADJI DAOU Dr. Roufai Haladou Oumarou Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN	Impact Of Crude Oil Contamination On Soil Functionality And Phytoremediation Strategies : Case Study Of Agadem Site And Along The Pipeline Corridor, Niger	345-359
Apoorva Pundric Dr. Adarsh Kumar Srivastav Dr. Khushboo Anjum	Effect Of Class 4 Laser Photobiomodulation Combined With Circulatory Exercise In Pain And Gait Performance Among Diabetic Neuropathy	360-361
Sachin Verma Digvijay Sharma Adarsh Kumar Srivastav	Cognitive Reserve In Low Back Pain: Establishing Reference Values Using The Cognitive Reserve Index Questionnaire	362-363
Kritika Mahto Priya Jadon Chandrasekhar Kumar	“Evaluation of High-Intensity Laser Therapy Against Conventional Physiotherapy in Managing Pain and Functional Limitation in Plantar Fasciitis: A Randomized Controlled Trial”	364
Nisha Mahawar	Analysis Of Power And Flexibility Of Both Upper Limb And Lower Limb Among Physiotherapy Student : An Observational Study	365
Drifa YALAOUI-GUELLAL Lila HADIDI	Anti-Inflammatory Properties Of Biosurfactants Produced By Hydrocarbonoclastic Bacteria	366-367
Nidhi Digvijay Sharma Adarsh Kumar Srivastav	Evaluating The Effectiveness Of Slums Versus Mmse For Cognitive Impairment Screening In An Indian Population: A Cross-Sectional Study	368-369
Swathi. R, S. Rubin thara, E. Praveena, Hari nandhini. A	Role Of Nutrition In Maintaining Good Health	370
ROHIT SINGH DR. CHANDRA SHEKHAR KUMAR	Discrepancy Between Perceived And Actual Multidimensional Physical Fitness Among University Students: Evidence Of Systematic Overestimation	371-372
Tanzeela , Dr. Matloob Ahmad , Dr. Furqan Ahmad Saddique , Tanzeela Riaz	AI-Driven Drug Discovery: Transforming Pharmaceutical Research And Its Societal Implications	373
Mohd Anas Arif Umesh Kumar Maurya	Optimizing Athletic Performance in Badminton: A Comparative Study of Core Strength and Endurance Training	374-375
Arpit Verma Umesh Kumar Maurya	Assessment of Agility and Hand Grip Strength: A Comparative Study Between Cricket and Badminton Players	376-377

AUTHORS	TITLE	NO
Duong To Quoc THAI M.A. Ly Thi Kim QUYEN M.A. Huynh Phuong NGHI	The Bank Of Indochina's Influence On The State Budget Of Indochina	378-388
M.A. Ly Thi Kim QUYEN Tran Ngoc ANH Duong To Quoc THAI	Socio-Political Awareness Of Political Education Students: Influencing Factors In The Era Of Digital Transformation	389-401
Benmeziane Imad-Ddine Ghomri Aicha Meghraoui	Energy-Efficient Star-Ris-Assisted Uav Networks Using Deep Reinforcement Learning: Scma Vs. Pd-Noma	402
Dr. Naveen Kumar	Four Point Internal Quilting Suture Technique For The Management Of Moderate To Severe Gynecomastia	403
FARAHI Hakima Mohamed Errami Rachid Ait Akbour	Electrochemical oxidation of s-Triazine using a BDD /carbon felt cell	404
BERSALI Silia	Prevalence And Antibiotic Resistance Of Bacteria Responsible For Nosocomial Infections In A Hospital In Algeria	405
Jaayefar, Fatima-ezzahra Dahmani, Jamila	Data Capitalization Of Laurus Nobilis L.: Therapeutic And Nutritional Valorization Of A Food And Medicinal Plant In The Central Plateau Of Morocco	406
Rasheed Sekore Busari Abdulhameed Folorunso Busari	Labour Dynamics In Architectural Drawing Production: A Comparative Study Of Analogue And Digital Methods	407
Dr. C.O. Ochogba Moses Umiaghe	Impact Of Innovative Technical Skill Acquisition On Mental Well-Being Among Youths In Rivers State, Nigeria	408
Dr. Samar Jamal Hassan Mahmoud Dr. Nada Ali Abozaid, Maria Fadhel Alfadhel , Albandari Zahid Alshammari, Kholoud Amin Said Eid, Rahma Mahmoud Ali Al-Rahail	An Adaptive And Inclusive Usability Model For Mobility Applications For Visually Impaired Users	409-410
Rawia NASRI Regaya KSIKSI Najet SRAIRI-ABID	Synthesis, Crystal Structure And Biological Activity Of A Decavanadate Compound	411
TAJAT Naoual, EL MOUHRI Wail, El HAYAOUI Widad, NADIF Iliass, TALEBI Jamal, BAKAS Idriss, TAMIMI Malika, ASSABBANE Ali, QOURZAL Samir	Simultaneous Removal Of Anionic And Cationic Dyes From Aqueous Solutions Using Nickel-Iron Layered Double Hydroxide Nanosheets	412

## TÜRKİYE’NİN İLLER DÜZEYİNDE ARAŞTIRMA GELİŞTİRME VE İNOVASYON PERFORMANSININ ENTROPİ VE GRİ İLİŞKİSEL YÖNTEM İLE ÖLÇÜLMESİ<sup>1</sup>

**Prof.Dr.Hasan AYAYDIN**

Gümüşhane University, Faculty of Economics and Administrative Sciences,

Department of Business Administration, 29100 Bağlarbaşı, Gümüşhane

**ORCID ID:** 0000-0002-5395-1411

**Elif TAKMAZ**

Doğu Karadeniz Kalkınma Ajansı (DOKA), Gümüşhane

### ÖZET

Bilgi ve teknoloji temelli ekonomilerin ön plana çıktığı günümüzde, ülkelerin rekabet gücünü belirleyen en önemli unsurlardan biri Ar-Ge ve inovasyon kapasitesidir. Bu kapasitenin yalnızca ulusal düzeyde değil, bölgesel ve yerel düzeyde de doğru ve nesnel biçimde ölçülmesi, kalkınma politikalarının etkinliğini artırmak açısından kritik bir gereklilik hâline gelmiştir. Türkiye’de son yıllarda Ar-Ge harcamaları, nitelikli iş gücü, patent üretimi ve yüksek teknoloji odaklı üretim süreçlerinde önemli gelişmeler yaşanmasına rağmen, bu ilerlemenin iller düzeyindeki dağılımında belirgin bir dengesizlik söz konusudur. Bu çalışmada, Türkiye’nin iller düzeyinde 2024 yılına ait 23 adet Ar-Ge ve inovasyon göstergesi kullanılarak illerin performansları çok boyutlu bir çerçevede değerlendirilmiştir. Öncelikle Entropi yöntemiyle her bir göstergenin nesnel ağırlıkları hesaplanmış, ardından Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemi ile illerin göreceli performans sıralaması belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen entropi ağırlıkları incelendiğinde, Tekno Yatırım (0.0744), Tasarım Merkezi Sayısı (0.0742), Patent Tescil Sayısı (0.0682) gibi göstergeler en yüksek varyansa sahip kriterler olarak ön plana çıkmaktadır. GİA sonuçlarına göre, İstanbul (0,97321), Ankara (0,53416) ve İzmir (0,39188) sırasıyla ilk üç sırada yer almıştır. Analiz sonuçları, Türkiye’de Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin belirli bölgelerde yoğunlaştığını ve bölgesel kalkınma farklılıklarının bu alanda da etkili olduğunu göstermiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sıralamalar ve ilişki dereceleri, bölgesel inovasyon politikalarının tasarlanmasına, kaynak tahsisinin daha etkin yapılmasına ve iller arasındaki gelişmişlik farklarının azaltılmasına yönelik önemli politika çıkarımları sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Ar-Ge, İnovasyon, Entropi Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz, Bölgesel Kalkınma

<sup>1</sup> Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı programında Prof.Dr.Hasan AYAYDIN danışmanlığında, Elif TAKMAZ tarafından hazırlanan ve Kabul edilen yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

## MEASURING THE RESEARCH-DEVELOPMENT, AND INNOVATION PERFORMANCE OF TÜRKİYE PROVINCES USING ENTROPY AND THE GREY RELATIONAL METHOD

### ABSTRACT

In today's world, where knowledge- and technology-based economies are at the forefront, one of the most important factors determining a country's competitiveness is its R&D and innovation capacity. Accurately and objectively measuring this capacity not only at the national level but also at the regional and local level has become a critical requirement for increasing the effectiveness of development policies. Although Türkiye has experienced significant progress in R&D expenditures, a skilled workforce, patent production, and high-technology-focused production processes in recent years, there is a significant imbalance in the distribution of this progress across the provinces. This study evaluates the performance of Türkiye provinces within a multidimensional framework using 23 R&D and innovation indicators for 2024. First, the objective weights of each indicator were calculated using the Entropy method, and then the relative performance rankings of the provinces were determined using the Grey Relational Analysis (GRA) method. When the entropy weights obtained as a result of the analysis are examined, indicators such as Techno Investment (0.0744), Number of Design Centers (0.0742), and Number of Patent Registrations (0.0682) stand out as the criteria with the highest variance. According to the GIA results, Istanbul (0.97321), Ankara (0.53416), and Izmir (0.39188) ranked first three, respectively. The analysis results show that R&D and innovation activities in Türkiye are concentrated in specific regions and that regional development disparities also affect this area. The rankings and correlation degrees obtained as a result of the study will offer important implications for the design of regional innovation policies, more effective resource allocation, and reducing development disparities between provinces.

**Keywords:** R&D, Innovation, Entropy Method, Grey Relational Analysis, Regional Development

### 1. GİRİŞ

Küreselleşme süreciyle birlikte teknolojik gelişmelerin hız kazanması, ülkeler arasındaki rekabetin yalnızca ekonomik büyüklükler üzerinden değil; bilgi üretme, yenilik geliştirme ve bu yenilikleri ekonomik ve toplumsal faydaya dönüştürme kapasitesi üzerinden şekillenmesine yol açmıştır. Bu bağlamda araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetleri ile inovasyon kapasitesi, ülkelerin sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmasında belirleyici bir unsur hâline gelmiştir. Günümüzde birçok ülke, bilimsel ve teknolojik ilerlemeleri katma değeri yüksek ürün ve hizmetlere dönüştürerek küresel ölçekte rekabet gücünü artırmayı amaçlayan stratejiler

izlemektedir (Becker vd., 2012; OECD, 2015).

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin belirli metropollerde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. TÜİK (2024) verilerine göre, Türkiye’de toplam Ar-Ge harcaması 651,8 milyar TL olarak gerçekleşmiş olup bu harcamaların yaklaşık %60’ından fazlası İstanbul ve Ankara’da yapılmıştır. Bölgesel dağılım incelendiğinde, İstanbul’un Ar-Ge harcamalarından aldığı pay %33’ün üzerinde iken Ankara’nın payı yaklaşık %28 düzeyindedir. Buna karşılık, Anadolu’daki birçok il Ar-Ge harcamalarından %1’in altında pay almakta; Ar-Ge personeli istihdamında da benzer bir dezavantajlı konumda bulunmaktadır. Nitekim Ar-Ge personelinin yarısından fazlası yalnızca bu iki ilde istihdam edilmektedir. Bu göstergeler, Türkiye’de Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin belirli merkezlerde yoğunlaştığını ve birçok ilin bu süreçten sınırlı ölçüde yararlanabildiğini ortaya koymaktadır (TÜİK, 2024). Bölgesel farklılıkların bu denli belirgin olması, Türkiye’nin bilgi temelli kalkınma hedeflerine ulaşmasında önemli bir engel teşkil etmektedir.

Bu çerçevede, Ar-Ge ve inovasyon göstergelerinin coğrafi dağılımındaki dengesizlik, merkezi ve yerel yönetimlerin mevcut politika araçlarını yeniden değerlendirmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ancak bu politikaların etkin biçimde tasarlanabilmesi ve uygulanabilmesi için öncelikle mevcut durumun doğru, nesnel ve çok boyutlu analizlerle ortaya konulması gerekmektedir. Türkiye’de 2000’li yıllardan itibaren Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerine yönelik kamu politikalarında önemli bir ivme kazanılmış; TÜBİTAK, KOSGEB ve Kalkınma Ajansları gibi kurumlar aracılığıyla çeşitli destek mekanizmaları hayata geçirilmiştir. Buna rağmen mevcut veriler, Ar-Ge yatırımlarının ve yenilikçi çıktılarının ülke genelinde homojen bir dağılım sergilemediğini, bazı bölgelerde yoğunlaşırken diğerlerinde sınırlı düzeyde kaldığını göstermektedir (TÜİK, 2024). Bu durum, bölgesel ve iller düzeyinde inovasyon performansının ölçülmesini ve bu ölçümler doğrultusunda politika önerileri geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde, Türkiye’de Ar-Ge ve inovasyon performansının çoğunlukla ulusal ya da sektörel düzeyde ele alındığı; iller ölçeğinde bütüncül, karşılaştırmalı ve çok boyutlu analizlere ise sınırlı ölçüde yer verildiği görülmektedir (Yıldırım, 2021). Bu analitik boşluk, iller arasında Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi bakımından ortaya çıkan yapısal farklılıkların yeterince görünür kılınmasını güçleştirmektedir. Ayrıca literatürdeki birçok çalışmanın sınırlı sayıda göstergeye odaklanması (Doğan, 2020; Dağlı, 2021; Örtlek, 2022), Ar-Ge ve inovasyon gibi çok boyutlu bir olgunun bütüncül biçimde değerlendirilmesini zorlaştırmakta ve elde edilen bulguların politika yapıcılar açısından uygulanabilirliğini

azaltmaktadır.

Ar-Ge ve inovasyon kavramları yalnızca teknoloji üretimiyle sınırlı olmayıp; bilgi üretimi, yeni iş modellerinin geliştirilmesi ve sosyal faydanın artırılması gibi çok boyutlu çıktılarla ilişkilidir (OECD, 2015). Bu nedenle söz konusu yapının sağlıklı biçimde değerlendirilebilmesi, farklı niteliklere sahip çok sayıda göstergenin eş zamanlı olarak dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu noktada kullanılan yöntemlerin nesnel, tutarlı ve karşılaştırılabilir olması ölçümün güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Literatürde Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), TOPSIS, VIKOR, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz gibi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin bu amaçla yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir (Ayaydın vd., 2025; Doğan, 2020; Karaatlı, 2016). Bu çalışmada tercih edilen Entropi yöntemi, kriter ağırlıklarını verinin içerdiği bilgi düzeyine dayalı olarak objektif biçimde belirlemesi; Gri İlişkisel Analiz yöntemi ise illerin ideal performansla olan yakınlık derecelerini ortaya koyarak karşılaştırmalı bir sıralama yapılmasına olanak tanınması nedeniyle öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin iller düzeyinde Ar-Ge ve inovasyon performansını Entropi ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemlerini kullanarak nesnel ve çok boyutlu bir çerçevede değerlendirmektir. Çalışmada 23 adet Ar-Ge ve inovasyon göstergesi esas alınarak Türkiye'nin iller arası yenilikçilik haritasının ortaya konulması hedeflenmektedir. Özellikle 2024 yılına ait güncel veriler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerin, karar vericilere veri temelli politika geliştirme süreçlerinde önemli katkılar sunması beklenmektedir. Çalışma kapsamında ilk olarak Ar-Ge ve inovasyon kavramları ile bu kavramların bölgesel kalkınmadaki rolü teorik çerçevede ele alınmakta; ardından Entropi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerinin kuramsal temelleri ve uygulama aşamaları açıklanmaktadır. Devamında ulusal ve uluslararası literatürde yer alan benzer çalışmalar incelenerek yöntemsel yaklaşımlar tartışılmakta; uygulama bölümünde ise belirlenen kriterler doğrultusunda Türkiye'deki illerin Ar-Ge ve inovasyon performansları analiz edilerek elde edilen bulgular tablolar aracılığıyla sunulmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin iller düzeyinde Ar-Ge ve inovasyon performanslarının Entropi ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemleriyle değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki temel araştırma soruları belirlenmiştir:

1. Entropi yöntemi ile belirlenen kriter ağırlıkları, iller arası performans farklarını nasıl yansıtmaktadır?
2. Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak Türkiye illerinin Ar-Ge ve inovasyon

performansları nasıl sıralanmaktadır?

3. İllerin Ar-Ge ve inovasyon performansı bölgesel olarak nasıl farklılaşmaktadır?
4. Ar-Ge ve inovasyon performansı yüksek iller, sosyo-ekonomik gelişmişlik açısından da yüksek mi?

## 2. LİTERATÜR

Jungmittag (2004), özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya ile karşılaştırmalı olarak, Avrupa Birliği'nde verimlilik artışının itici gücü olarak inovasyonun rolünü araştırmaktadır. Çalışmada, AB ekonomilerinde Ar-Ge harcamaları ve toplam faktör verimliliği arasındaki ilişkiyi araştırmak için panel veriler kullanılarak ekonometrik analizler yapılmıştır. Bulgular, inovasyonun verimlilik performansındaki farklılıkları açıklamada önemli bir rol oynadığını ve Ar-Ge'ye yapılan yatırımın artmasının AB ile uluslararası rakipleri arasındaki verimlilik farkını kapatmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir. İmalat firmalarında organizasyon yapısı ile inovasyon performansı arasındaki ilişki, son yıllarda yapılan araştırmalarda kapsamlı şekilde incelenmektedir. Dedahanov vd., (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı organizasyon yapılarının (merkezi ve merkezi olmayan) inovasyon türleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Araştırma, firmalardaki yenilikçi davranışların, organizasyon yapısı ile inovasyon başarısı arasındaki ilişkide aracı rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bulgular, süreç inovasyonlarının daha esnek, merkezi olmayan yapılarla uyumlu olduğunu, ürün inovasyonlarının ise daha yapılandırılmış ve merkezi yapılardan fayda sağladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, inovasyon başarısının artırılmasında organizasyonel tasarımın inovasyon stratejisi ile uyumlu hale getirilmesinin önemini vurgulamaktadır ve firmaların inovasyon stratejilerini belirlerken organizasyon yapılarını dikkate almalarının kritik olduğunu göstermektedir (Dedahanov vd., 2023). Autant-Bernard vd., (2010), Avrupa bölgeleri arasında inovasyon süreçlerinin mekansal dinamiklerini inceleyen çalışmalarında, coğrafi yakınlığın bilgi yayılımı üzerindeki etkisi vurgulanmaktadır. Araştırma, bölgeler arası bilgi transferinin etkinliğini artırmak için bölgesel inovasyon sistemlerinin güçlendirilmesi ve politika koordinasyonunun önemini ortaya koymaktadır.

Eleren ve Karagül (2008) de yaptıkları araştırmalarında Türkiye ekonomisinin 1986-2006 performans değerlendirmesi, yirmi yıl boyunca yapısal reformlar, enflasyon eğilimleri, büyüme modelleri ve istihdam dinamiklerinin makroekonomik bir değerlendirmesini sunmaktadır. Rapor, aralıklı büyümeye rağmen, kalıcı enflasyon ve dış dengesizliklerin Türk ekonomisini karakterize ettiğini belirtmekte ve ekonomik istikrarı ve uzun vadeli kalkınmayı artırmak için daha tutarlı ve etkili yapısal dönüşüm politikalarına ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Atik

ve Ertaş (2016) yılında çalışmalarında; Türkiye'nin kalkınma göstergelerine dayalı OECD sıralamasının istatistiksel analizi, gelir dağılımı, eğitim ve sağlık gibi ölçütleri kullanarak Türkiye'nin sosyo-ekonomik durumunu değerlendirmektedir. Çalışma, Türkiye'nin göreceli performansını ve gelişmişlik farklarını değerlendirmek için tanımlayıcı ve çıkarımsal istatistikler uygulamakta ve Türkiye'nin birçok temel göstergede geride kaldığını ortaya koymaktadır. Çalışma, Türkiye'nin OECD üyeleri arasındaki rekabetçi konumunu iyileştirmek için hedefe yönelik politika müdahalelerinin gerekli olduğu sonucuna varmaktadır.

Zhou, Ziyang ve Li (2012) ise Çin'in bölgeleri arasındaki inovasyon kapasitesini Entropi ve GİA yöntemleriyle analiz etmiş ve bu yöntemlerin karar destek süreçlerinde güçlü araçlar olduğunu göstermiştir. Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda da benzer yöntemlerin kullanımı dikkat çekmektedir. Oralhan ve Büyüktürk (2019) yılında yaptıkları çalışmalarında, çok kriterli karar alma yöntemleri kullanılarak Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin inovasyon performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada 2018 Avrupa İnovasyon Puan Tablosu'ndan alınan veriler kullanılmış ve TOPSIS, VIKOR ve MOORA olmak üzere üç yerleşik metodoloji uygulanarak 28 AB üye ülkesi, 4 aday ülke (Türkiye dahil) ve 6 komşu ülkenin inovasyon kapasiteleri sıralanmıştır. Bulgular, yöntemler arasında tutarlı ancak biraz değişken ülke sıralamaları olduğunu ortaya koymuştur; İsviçre, İsveç ve Danimarka lider konumdayken, Türkiye yönteme bağlı olarak 31. ile 33. sıralar arasında yer almaktadır. Analiz, uygun karar alma aracının seçilmesinde basitlik, güvenilirlik ve veri yapısı gibi metodolojik faktörlerin önemini vurgulamaktadır.

Dağlı (2021), Türkiye'deki Düzey 2 bölgelerinin inovasyon etkinliğini veri zarflama analizi (VZA) yöntemiyle incelemiş ve Marmara ile İç Anadolu bölgelerinin en yüksek inovasyon performansına sahip olduğunu tespit etmiştir. Bu bulgular, Türkiye'de inovasyon faaliyetlerinin bölgesel olarak dengesiz dağıldığını ve politika yapıcıların bölgesel kalkınma odaklı stratejilere yönelmesi gerektiğini göstermektedir. Bir diğer çalışmada, Örtlek (2022), Türkiye'nin İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflandırması'na göre Düzey-2 bölgelerinin inovasyon performansı, Entropi tabanlı GİA yöntemiyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinin en yüksek inovasyon performansına sahip olduğunu göstermektedir. Tüm bu çalışmalar, Entropi ve GİA yöntemlerinin hem bilimsel hem de uygulama açısından geçerliliğini ortaya koymakta ve bu yöntemlerin Türkiye özelinde inovasyon politikalarının geliştirilmesine katkı sunabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemlerini kullanarak Türkiye'de Ar-Ge ve inovasyon performansını iller düzeyinde, çok boyutlu ve nesnel bir çerçevede

değerlendirmesi bakımından önem taşımaktadır. Literatürde ağırlıklı olarak ulusal veya bölgesel düzeyde ele alınan analizlerin aksine, iller arasındaki farklılıkları ayrıntılı biçimde ortaya koyarak mekânsal eşitsizliklerin daha net anlaşılmasına olanak tanımakta ve bu yönüyle literatürdeki yönetsel bir boşluğu doldurmaktadır. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) tekniklerinin tercih edilmesinin temel nedeni, Ar-Ge ve inovasyon performansının tek bir göstergeyle açıklanamayacak kadar çok boyutlu ve karmaşık bir yapıya sahip olmasıdır. Ar-Ge merkezi sayısı, tasarım merkezi sayısı, patentler, destekler, ticarileşme göstergeleri ve beşeri sermaye gibi farklı nitelik ve ölçekteki göstergelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. ÇKKV yöntemleri, bu farklı göstergeleri aynı analitik çerçevede bütüncül biçimde ele alma, göstergeler arasındaki görece önemleri dikkate alma ve alternatifleri (iller, bölgeler vb.) karşılaştırılabilir sonuçlarla sıralama imkânı sunmaktadır. Entropi yöntemi göstergelerin ağırlıklarını öznel yargılardan arındırılmış biçimde belirlerken, GİA çok sayıda göstergenin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte çalışma, il düzeyinde veri erişilebilirliği ve kullanılan göstergelerin kapsamı ile sınırlı olup, analizlerin belirli bir zaman kesitine dayanması inovasyon süreçlerinin dinamik yapısının tam olarak yansıtılmasını güçleştirmektedir. Buna rağmen elde edilen bulgular, hem akademik çalışmalar hem de politika yapıcılar açısından karşılaştırılabilir, güvenilir ve kanıta dayalı bir referans çerçevesi sunarak bölgesel ve il düzeyinde Ar-Ge ve inovasyon politikalarının daha etkin biçimde tasarlanmasına katkı sağlamaktadır.

### 3. VERİ, MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada karma yöntem benimsemiştir. Nitel ve nicel araştırmaların veri toplama yöntemini kullanan karma yöntem araştırmaları, iki yaklaşımın avantajlı taraflarını birleştirme imkânı sunmaktadır (Baki ve Gökçek, 2012). Araştırmacının kullanacağı yöntem ve teknik seçeneklerini artırması ve araştırma sorularına cevap aranırken çoklu yaklaşımlara olanak vermesi bakımından sunulan çalışmanın doğasına uygun olduğu düşünülmüştür.

Türkiye'nin iller düzeyinde Ar-Ge ve inovasyon performansının ölçümünde kullanılan model, 6 temel bileşenden (Fikri ve Sinai Mülkiyet Hakları (FSMH), Bilimsel Araştırma Etkinliği, Ar-Ge ve Yenilik Altyapısı, Destek ve Teşvikler, Ticarileşme ve Altyapı) ve bu bileşenler altında yer alan 23 göstergeden oluşmuştur. Performans ölçümünde kullanılan Ar-Ge ve inovasyon göstergeleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ar-Ge ve İnovasyon Göstergeleri

Kriter Kodu	Kriterler	Kaynak
<b>Fikri ve Sinai Mülkiyet Hakları (2024)</b>		
K <sub>1</sub>	İlin Patent Başvuru Sayısı	Türk Patent ve Marka Kurumu
K <sub>2</sub>	İlin Patent Tescil Sayısı	
K <sub>3</sub>	İlin Marka Başvuru Sayısı	
K <sub>4</sub>	İlin Marka Tescil Sayısı	
K <sub>5</sub>	İlin Faydalı Model Başvuru Sayısı	
K <sub>6</sub>	İlin Faydalı Model Tescil Sayısı	
K <sub>7</sub>	İlin Tasarım Başvuru Sayısı	
K <sub>8</sub>	İlin Tasarım Tescil Sayısı	
<b>Bilimsel Araştırma Etkinliği (2024-2025)</b>		
K <sub>9</sub>	İlde Toplam Öğretim Elemanı Sayısı	TÜİK
K <sub>10</sub>	İlde Yüksek Lisans Dereceli Mezun Sayısı	
K <sub>11</sub>	İlde Doktora Dereceli Mezun Sayısı	
<b>Ar-Ge ve Yenilik Altyapısı (2024)</b>		
K <sub>12</sub>	İl Bazında Ar-Ge Merkezi Sayısı	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
K <sub>13</sub>	İl Bazında Teknoloji Geliştirme Bölgeleri Sayısı	
K <sub>14</sub>	İl Bazında Tasarım Merkezi Sayısı	
K <sub>15</sub>	İl Bazında Teknolojik Ürün Deneyim (TÜR) Belgesi	
<b>Destek ve Teşvikler</b>		
K <sub>16</sub>	İl Bazında ARDEB Proje Başvuru Sayısı (2019-2023)	TÜBİTAK

Tablo 2. (Devamı)

**K17** Teknolojik Ürün Yatırım Destek Programı (TEKNOYATIRIM 2014-2015 Desteklenen Proje Sayısı) TÜBİTAK

**K18** KOSGEB Ar-Ge, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı (2011-2021) KOSGEB

Ticarileşme (2024)

**K19** Kişi Başı İhracat Miktarı TÜİK

**K20** Kişi Başı İmalat Sektörü İhracat Miktarı

Altyapı (2024)

**K21** Kişi Başı Mobil Genişbant İnternet Abone Sayısı TÜİK

**K22** Kişi Başı Sabit Genişbant İnternet Abone Sayısı

**K23** Kişi Başı Elektrik Tüketimi (2023)

#### 4. Performans Ölçülmesi

Performans ölçümünde kullanılan yöntemler, genellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımlarına dayanmaktadır. Bu yaklaşımlar, farklı ölçütlerin farklı ağırlıklarda etkili olduğu durumlarda tercih edilmekte ve karmaşık veri kümelerinin anlamlandırılmasında güçlü araçlar sunmaktadır (Tighnavard Balasbaneh vd., 2025). Bu kapsamda, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz

(GİA) yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Entropi yöntemi, her bir göstergenin karar verme sürecine katkı düzeyini nesnel bir biçimde belirlemeye yarayan istatistik temelli bir yaklaşımdır. Bilgi teorisine dayanan bu yöntem, varyasyon düzeyi yüksek olan kriterlere daha fazla ağırlık atayarak, değerlendirmelerin bilgi zenginliğini artırmayı amaçlamaktadır (Zhang vd., 2023). Dolayısıyla, Entropi yöntemi sayesinde değişkenlik gösteren ve ayrıştırıcı gücü yüksek kriterler analizlerde daha belirleyici hale gelmektedir (Zhu vd., 2020).

Gri İlişkisel Analiz ise alternatiflerin belirlenen ideal çözümle benzerlik derecelerini ölçerek sıralama yapan bir yöntemdir. Bu yöntem özellikle verinin kısıtlı, belirsiz veya eksik olduğu durumlarda güçlü sonuçlar üretmektedir (Senthilkumar, Adinarayanan ve Jagatheesan, 2023). GİA, referans seriye olan benzerlik derecesine göre illerin performanslarını sıralamakta, böylece hangi ilin diğerlerine kıyasla daha yüksek inovasyon ve Ar-Ge başarımı gösterdiği anlaşılabilir (Belgin ve Avşar, 2019).

Performans ölçümünde bu yöntemlerin birlikte kullanılması, hem kriterlerin nesnel biçimde ağırlıklandırılması (Entropi) hem de illerin performanslarının bütüncül biçimde sıralanması (GİA) açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle çalışmada söz konusu iki yöntemin kombinasyonu tercih edilmiştir. Böylelikle, 2024 yılına ait veriler doğrultusunda, 23 adet temel Ar-Ge ve inovasyon göstergesi esas alınarak Türkiye'deki illerin Ar-Ge ve inovasyon performansları objektif biçimde analiz edilebilecektir.

### 3.8. Entropi Yöntemi

Entropi kavramı, Claude Shannon tarafından bilgi teorisinde geliştirilmiş olup (Shannon, 1948), belirsizliğin ölçülmesi üzerine kuruludur; çok kriterli karar verme bağlamında bu kavramın kullanımı ise Milan Zeleny tarafından 1982'de çok kriterli karar verme literatürüne kazandırılmıştır (Zeleny, 1982). Entropi Yöntemi genellikle şu basamakları izler (Wu ve Lin, 2012)

1. Aşama: Karar Matrisinin Oluşturulması
2. Aşama: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması
3. Aşama: Entropi Değerlerinin Hesaplanması
4. Aşama: Farklılaşma Derecesinin Hesaplanması

Her bir kriter için bilgi faydası ya da farklılaşma derecesi için eşitlik (6) kullanılır.

$$(d_j) = 1 - e_j \quad (j \text{ tane kriter için ayrı ayrı hesaplanmalıdır.}) \quad (6)$$

5. Aşama: Entropi Ağırlığının Hesaplanması

### 3.9. Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz (GİA), Çinli bilim insanı Deng (1982) tarafından Gri Sistem Teorisi kapsamında geliştirilmiştir (Esangbedo ve Wei, 2023). Gri Sistem Teorisi, az bilgi veya belirsizlik içeren durumları modellemek amacıyla ortaya çıkmıştır. Bu çerçevede GİA, çok sayıda faktör ve değişken arasındaki karmaşık ilişkileri analiz etmek için uygundur. GİA, her iki veri serisi arasındaki global ilişki derecesini ölçer ve alternatifler ile kriterler arasındaki benzerlik/farklılıkları inceleyen bir etki değerlendirme modelidir (Gök-Kısa ve Perçin, 2018).

1. Aşama: Karar Matrisinin Oluşturulması
2. Aşama: Referans Serisinin Oluşturulması
3. Aşama: Kararlaştırma Serisinin Oluşturulması
4. Aşama: Mutlak Değer Tablosunun Oluşturulması
5. Gri İlişkisel Katsayı Matrisinin Hesaplanması
6. Aşama: Gri İlişki Derecesinin Hesaplanması

### 4. BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde, Türkiye'deki illerin Ar-Ge ve inovasyon performansları Entropi yöntemi ile Gri İlişkisel Analiz (GİA) yaklaşımlarının birlikte uygulanmasıyla değerlendirilmiştir. Entropi yöntemi kapsamında hesaplanan kriter ağırlıkları, kullanılan göstergelerin iller arasındaki ayırt edicilik düzeylerini nesnel biçimde ortaya koymuş; bu ağırlıklar esas alınarak gerçekleştirilen Gri İlişkisel Analiz sonucunda ise illerin Ar-Ge ve inovasyon performanslarına ilişkin karşılaştırmalı sıralamalar elde edilmiştir.

#### 4.1. Entropi Analiz Yönteminin Uygulanması

Tablo 5. Entropi Ağırlık Tablosu

SIRA	DEĞİŞKENLER	AĞIRLIK
1	Tekno Yatırım	0,0744
2	Tasarım Merkezi Sayısı	0,0742
3	Patent Tescil Sayısı	0,0682
4	İl Bazında (TÜR) Belgesi Sayısı	0,0677
5	Tasarım Sayısı	0,0627
6	Tasarım Tescil Sayısı	0,0624
7	Patent Başvuru Sayısı	0,0597
8	Ar-Ge Merkezi Sayısı	0,0586
9	Marka Tescil Sayısı	0,0577
10	Marka Başvuru Sayısı	0,0555
11	Faydalı Model Tescil Sayısı	0,0522
12	Faydalı Model Başvuru Sayısı	0,0454
13	İl Bazında ARDEB Proje Başvuru Sayısı	0,0452
14	KOSGEB Ar-Ge, İnovasyon ve Endüstriyel Uygulama Destek Programı	0,0427
15	İlde Doktora Dereceli Mezun Sayısı	0,0365
16	İlde Yüksek Lisans Dereceli Mezun Sayısı	0,0350
17	Teknoloji Bölgeleri Sayısı	0,0261
18	İlde Toplam Öğretim Elemanı Sayısı	0,0258
19	Kişi Başı İmalat Sektörü İhracat Miktarı	0,0225

20	Kişi Başı İhracat Miktarı	0,0199
21	Kişi Başı Elektrik Tüketimi	0,0045
22	Kişi Başı Mobil Genişbant İnternet Abone Sayısı	0,0017
23	Kişi Başı Sabit Genişbant İnternet Abone Sayısı	0,0015

Analiz sonucunda elde edilen entropi ağırlıkları incelendiğinde, yüksek ağırlığa sahip olan Tekno Yatırım (0.0744) , Tasarım Merkezi Sayısı (0.0742), Patent Tescil Sayısı (0.0682) ve İl Bazında (TÜR) Belgesi (0.0677) gibi göstergeler, incelenen iller arasında en yüksek varyansa sahip kriterler olarak ön plana çıkmaktadır. Bu durum, söz konusu kriterlerin yenilikçiliği ölçmede güçlü belirleyiciler olduğunu işaret eder. Tekno yatırım göstergesinin yüksek ağırlığı, il düzeyinde yapılan teknoloji tabanlı yatırımların yenilikçilik düzeyini belirlemede önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Tasarım merkezi ve patent tescil sayısı, illerin yaratıcı çıktı üretme kapasitesini temsil eder. Bu göstergelerdeki yüksek varyasyon, yenilikçilikteki bölgesel eşitsizliği ortaya koymaktadır.

#### 4.2. Gri İlişkisel Analiz Yönteminin Uygulanması

Bu çalışmada, Türkiye'deki illerin Ar-Ge ve inovasyon performanslarının karşılaştırmalı değerlendirmesi için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Gri İlişkisel Analiz (GİA) kullanılmıştır. GİA, özellikle karmaşık ve çok değişkenli sistemlerde karar vermeyi kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiş bir tekniktir (Deng, 1989). Yöntem, karar matrisinde yer alan alternatiflerin ideal (referans) çözüme olan yakınlık derecelerini hesaplayarak, her bir alternatifin genel performans düzeyini belirlemeye yardımcı olur.

Gri ilişkisel analizde uygulama adımları aşağıda belirtilmiştir. İlk adımda Tablo 6'da gösterildiği gibi alternatiflerin ve kriterlerin bulunduğu karar matrisi oluşturulmaktadır. İkinci adımda karar matrisindeki verilere normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalizasyon işlemi, kriterin türüne göre (yarar veya maliyet tipi) farklı formüllerle hesaplanmıştır. Normalize edilmiş karar matrisi Tablo 7'de gösterilmiştir. Uygulamanın üçüncü adımında normalleştirilmiş karar matrisinde bulunan değerlerin referans serisine göre mutlak değer matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen mutlak değer matrisi Tablo 8'de sunulmaktadır. Dördüncü adımda kriterlerin gri ilişkisel katsayıya dönüştürülme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kriter değerlerinin gri ilişkisel katsayıya dönüşümünde  $\delta = 0,5$  olarak alınmış, gri ilişkisel katsayı matrisi Tablo 9'da gösterilmiştir. Son aşamada entropi yöntemiyle belirlenen nesnel ağırlıklar kullanılarak her kriterin gri ilişkisel katsayıları, entropi ağırlıklarıyla çarpılarak ağırlıklı gri ilişkisel dereceler elde edilmiştir. Elde edilen gri ilişkisel derece ve illerin performans sıralamaları Tablo 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 10. Türkiye'nin İl Düzeyinde Ar-Ge ve Yenilik Performans Sıralaması**

SIRA	İLLER	İLİŞKİ DERECEŚİ	SIRA	İLLER	İLİŞKİ DERECEŚİ
1	İSTANBUL	0,97321	42	BOLU	0,33674
2	ANKARA	0,53416	43	SİVAS	0,33663
3	İZMİR	0,39188	44	OSMANİYE	0,33658
4	BURSA	0,39000	45	DİYARBAKIR	0,33652
5	KOCAELİ	0,37992	46	AFYON	0,33647
6	KONYA	0,36194	47	GİRESUN	0,33645
7	SAKARYA	0,35851	48	BURDUR	0,33643
8	KAYSERİ	0,35580	49	UŞAK	0,33635
9	GAZİANTEP	0,35377	50	RİZE	0,33613
10	ÇORUM	0,35329	51	NİĞDE	0,33612
11	DENİZLİ	0,34921	52	KIRŞEHİR	0,33609
12	MERSİN (İÇEL)	0,34844	53	EDİRNE	0,33602
13	TEKİRDAĞ	0,34720	54	AKSARAY	0,33599
14	ANTALYA	0,34675	55	ŞIRNAK	0,33586
15	ESKİŞEHİR	0,34609	56	KASTAMONU	0,33567
16	MANİSA	0,34548	57	ARTVİN	0,33565
17	ADANA	0,34467	58	TOKAT	0,33564
18	SAMSUN	0,34098	59	KIRIKKALE	0,33560
19	HATAY	0,34089	60	ORDU	0,33556
20	TRABZON	0,34008	61	BATMAN	0,33547
21	BALIKESİR	0,33926	62	KİLİS	0,33546
22	KAHRAMANMARAŞ	0,33925	63	VAN	0,33535
23	AYDIN	0,33922	64	YOZGAT	0,33532
24	MUĞLA	0,33909	65	ADİYAMAN	0,33512
25	BİLECİK	0,33891	66	AMASYA	0,33495
26	YALOVA	0,33863	67	HAKKÂRİ	0,33481
27	ISPARTA	0,33830	68	İĞDIR	0,33473
28	ELAZIĞ	0,33821	69	TUNCELİ	0,33468
29	ÇANAKKALE	0,33797	70	ERZİNCAN	0,33463
30	ÇANKIRI	0,33786	71	BARTIN	0,33456
31	KÜTAHYA	0,33772	72	MUŞ	0,33439
32	DÜZCE	0,33768	73	GÜMÜŞHANE	0,33437
33	KARABÜK	0,33766	74	SİNOP	0,33425
34	ERZURUM	0,33752	75	BİNGÖL	0,33415
35	KIRKLARELİ	0,33746	76	SİİRT	0,33411
36	MALATYA	0,33745	77	AĞRI	0,33410
37	NEVŞEHİR	0,33743	78	BİTLİS	0,33409
38	MARDİN	0,33734	79	ARDAHAN	0,33398
39	ŞANLIURFA	0,33731	80	BAYBURT	0,33388
40	ZONGULDAK	0,33730	81	KARS	0,33387
41	KARAMAN	0,33707			

Bu çalışmada GİA'ya entegre edilen ağırlıklar, objektif bir yöntem olan entropi yöntemi ile belirlenmiştir (Gao vd., 2023). Bu sayede kriterlerin bilgi içeriğine dayalı bir şekilde önem dereceleri hesaba katılarak daha dengeli bir değerlendirme yapılmıştır.

GİA sonuçlarına göre, İstanbul (0,97321), Ankara (0,53416) ve İzmir (0,39188) sırasıyla ilk üç sırada yer almıştır. Bu üç ilin Ar-Ge ve inovasyon açısından Türkiye'nin açık ara lideri olduğu görülmektedir. Özellikle İstanbul'un ilişki derecesinin diğer illerden oldukça yüksek olması, ilin Ar-Ge merkezi sayısı, teknoloji bölgeleri yoğunluğu, tasarım merkezleri, patent ve marka tescil sayıları bakımından ülke genelinde belirleyici bir konumda olduğunu göstermektedir. Ankara ise üniversite, araştırma kurumları ve kamu destekli Ar-Ge projeleri (ARDEB vb.) açısından güçlü bir yapıya sahiptir. İzmir, teknoloji geliştirme bölgeleri, ihracat kapasitesi ve yükseköğretim altyapısı ile üçüncü sırada yer almıştır.

Alt sıralarda yer alan illerin (örneğin Kars, Bayburt, Ardahan, Ağrı, Bitlis, Siirt) ilişki dereceleri birbirine oldukça yakın olup, 0,333–0,335 aralığında yoğunlaşmıştır. Bu bölgelerde Ar-Ge altyapısının yetersizliği, sanayi üretim kapasitesinin düşük olması ve üniversite-sanayi iş birliklerinin sınırlı düzeyde kalması, performansın düşük çıkmasında temel etkindir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde Ar-Ge yatırımlarının ve yenilikçi ekosistemlerin desteklenmesi gerektiği görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada Türkiye'de illerin Ar-Ge ve inovasyon performansları, çok kriterli karar verme yaklaşımları çerçevesinde iki aşamalı bir yöntemle analiz edilmiştir. İlk aşamada, analizde kullanılan 23 göstergenin görelî önem düzeyleri Entropi yöntemi ile belirlenmiş; ikinci aşamada ise bu ağırlıklar Gri İlişkisel Analiz'e dâhil edilerek illerin görelî performans sıralamaları elde edilmiştir. Bu yöntemsel yapı, hem değişkenlerin ayırt edici gücünü nesnel olarak ortaya koymakta hem de iller arası performans farklarını sayısal olarak değerlendirmeye imkân tanımaktadır.

Entropi yöntemi sonuçları, Ar-Ge ve inovasyon performansını belirlemede yenilik çıktıları ve teknoloji odaklı göstergelerin daha belirleyici olduğunu göstermektedir. En yüksek ağırlığa sahip değişkenler tekno yatırım (0,0744) ve tasarım merkezi sayısı (0,0742) olmuştur. Bu değişkenleri patent tescil sayısı (0,0682) ve il bazında TÜR belgesi sayısı (0,0677) takip etmektedir. Söz konusu dört değişkenin toplam ağırlığının 0,2845 olması, Ar-Ge ve inovasyon performansının yaklaşık %30'unun doğrudan teknoloji yatırımları ve tescillenmiş yenilik çıktılarıyla açıklandığını ortaya koymaktadır. Buna karşılık, kişi başı elektrik tüketimi ile mobil ve sabit genişbant internet abonelikleri gibi genel altyapı göstergeleri oldukça düşük ağırlıklara

sahiptir. Bu durum, bu göstergelerin iller arasında Ar-Ge ve inovasyon performansını ayırt etmede sınırlı bir role sahip olduğunu göstermektedir.

Entropi yöntemiyle ağırlıklandırılan bu göstergeler kullanılarak gerçekleştirilen Gri İlişkisel Analiz sonuçları, iller arasında Ar-Ge ve inovasyon performansı açısından belirgin farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre, İstanbul (0,97321) gibi çok yüksek bir gri ilişki derecesiyle diğer tüm illerden açık biçimde ayrılarak birinci sırada yer almıştır. İstanbul'u Ankara (0,53416) ve İzmir (0,39188) izlemektedir. İstanbul ile ikinci sıradaki Ankara arasındaki farkın oldukça yüksek olması (0,43905), Ar-Ge ve inovasyon faaliyetlerinin Türkiye'de belirli büyükşehirlerde yoğunlaştığını göstermektedir.

Üst sıralarda yer alan Bursa (0,39000) ve Kocaeli (0,37992) gibi iller, sanayi altyapısını Ar-Ge ve tasarım faaliyetleriyle destekleyen bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Bu illerin ilişki derecelerinin birbirine yakın olması, sanayi temelli illerin Ar-Ge ve inovasyon performansında benzer düzeylerde yer aldığını göstermektedir. Orta sıralarda bulunan Konya, Kayseri, Gaziantep, Denizli ve Manisa gibi illerin değerlerinin 0,34–0,36 aralığında yoğunlaşması, bu illerin Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin belirli bir seviyeye ulaşmış olmakla birlikte, üst grup illerden ayrıştığını ortaya koymaktadır.

Listenin alt sıralarında yer alan illerde ise gri ilişki derecelerinin 0,333–0,336 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Örneğin Bayburt, Kars ve Ardahan gibi iller arasında farkların oldukça düşük olması, bu illerin yüksek ağırlıklı göstergelerin çoğunda benzer ve düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesi görece düşük olan iller arasında performans farklılaşmasının sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Entropi ve Gri İlişkisel Analiz'in birlikte kullanılması, Türkiye'de il düzeyinde Ar-Ge ve inovasyon performansının ağırlıklı olarak teknoloji yatırımları, patent ve tasarım gibi tescillenmiş yenilik çıktıları ile kurumsal Ar-Ge altyapısı tarafından belirlendiğini açık biçimde göstermiştir. Büyükşehirler ve sanayi merkezleri bu göstergelerdeki üstünlükleri sayesinde üst sıralarda yer alırken, Ar-Ge altyapısı ve yenilik çıktıları sınırlı olan iller alt sıralarda yoğunlaşmıştır. Bu bulgular, bölgesel Ar-Ge ve inovasyon politikalarının genel altyapı yatırımlarından ziyade, yenilik üretimini ve tescil süreçlerini güçlendirmeye odaklanan, il bazlı farklılaştırılmış stratejiler çerçevesinde ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Ayrıca, Entropi yöntemiyle ağırlıklandırılmış Gri İlişkisel Analiz sonuçlarının SEGE-2025 bulgularıyla yüksek düzeyde uyum göstermesi, elde edilen il sıralamasının yöntemsel tutarlılığını güçlendirmektedir. GİA sonuçlarında üst sıralarda yer alan illerin, SEGE-2025

kapsamında da sosyo-ekonomik açıdan gelişmiş iller arasında bulunması; orta ve alt gruptaki illerin her iki çalışmada da benzer biçimde konumlanması, Ar-Ge ve inovasyon performansının illerin genel gelişmişlik düzeyiyle güçlü bir ilişki içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu uyum, bölgesel Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin yalnızca teknik göstergelerle değil, **beşerî** sermaye, sanayi yapısı ve kurumsal altyapı gibi sosyo-ekonomik faktörlerle birlikte şekillendiğini göstermektedir. Dolayısıyla, Entropi ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz bulguları, SEGE-2025'in ortaya koyduğu bölgesel gelişmişlik farklılıklarını Ar-Ge ve inovasyon boyutunda da doğrulamakta; bu durum, bölgesel kalkınma ve inovasyon politikalarının **çok** boyutlu endeksler ışığında ve bütüncül bir yaklaşımla tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

### 5.2. Politika Önerileri

Bu çalışmada Entropi yöntemi ile ağırlıklandırılmış Gri İlişkisel Analiz sonuçlarının SEGE-2025 bulgularıyla yüksek düzeyde örtüşmesi, politika önerilerinin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeyleri esas alınarak kademeli ve farklılaştırılmış biçimde tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır. SEGE-2025'te üst, orta ve alt gelişmişlik gruplarında yer alan illerin GİA sıralamasında da benzer konumlarda bulunması, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin genel kalkınma dinamiklerinden bağımsız ele alınamayacağını göstermektedir. Bu bağlamda politika yapıcılarının, Ar-Ge ve inovasyon politikalarını SEGE temelli bölgesel kalkınma yaklaşımıyla bütünleştirmesi kritik önem taşımaktadır.

SEGE-2025'te birinci ve ikinci kademede yer alan, aynı zamanda GİA sonuçlarında üst sıralarda bulunan iller için politikaların odağında küresel rekabetçilik ve yüksek katma değerli üretim yer almalıdır. Bu illerde mevcut Ar-Ge ve inovasyon ekosistemi belirli bir olgunluğa ulaştığından, politika yapıcılarının temel hedefi niceliksel genişleme yerine niteliksel derinleşme olmalıdır. Tekno yatırım, tasarım merkezi ve patent tescili gibi Entropi ağırlığı yüksek göstergelerde sürdürülebilir artış sağlanması için ileri teknoloji alanlarına yönelik seçici teşvikler, uluslararası Ar-Ge iş birlikleri ve küresel değer zincirlerine entegrasyonu destekleyen programlar ön plana çıkarılmalıdır. SEGE açısından gelişmiş bu illerin, çevre iller için bilgi ve teknoloji yayılımı sağlayan bölgesel inovasyon çekim merkezleri olarak konumlandırılması da bölgesel dengesizliklerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

SEGE-2025'te orta gelişmişlik grubunda yer alan ve GİA sonuçlarında da orta sıralarda konumlanan iller için politika önceliği, mevcut sanayi altyapısının inovasyon kapasitesiyle bütünleştirilmesidir. Bu iller, üretim ve istihdam açısından belirli bir potansiyele sahip olmakla birlikte, Entropi sonuçlarının da gösterdiği üzere patent, tasarım ve ticarileşme çıktılarında

sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle politika yapıcılarının, SEGE kapsamında bu illere yönelik Ar-Ge desteklerini daha hedefli hale getirmesi; KOBİ'lerin tasarım, marka ve patent üretimine yönlendirilmesini sağlayacak danışmanlık ve finansman mekanizmalarını güçlendirmesi gerekmektedir. Ayrıca üniversite-sanayi iş birliklerinin uygulamaya dönük projeler üzerinden teşvik edilmesi ve nitelikli insan kaynağının bu illerde tutulmasına yönelik bölgesel teşviklerin artırılması, orta gelişmişlik grubundaki illerin GİA performansını yukarı taşıyacaktır.

SEGE-2025'te alt gelişmişlik grubunda yer alan ve GİA sonuçlarında da düşük gri ilişki derecelerine sahip iller için ise politikaların daha temel ve uzun vadeli bir kalkınma perspektifiyle ele alınması gerekmektedir. Bu illerde Ar-Ge ve inovasyon performansının düşük olmasının temelinde, Entropi ağırlığı yüksek göstergelerdeki yapısal eksiklikler yer almaktadır. Dolayısıyla politika yapıcılarının, bu bölgelerde öncelikle kurumsal kapasiteyi, beşerî sermayeyi ve girişimcilik ekosistemini güçlendirmeye odaklanması gerekmektedir. SEGE çerçevesinde sağlanan bölgesel desteklerin Ar-Ge ve inovasyon bileşenleri artırılmalı; kamu öncülüğünde teknoloji geliştirme alanları, uygulamalı Ar-Ge merkezleri ve yerel ihtiyaçlara odaklanan yenilik programları hayata geçirilmelidir. Bu yaklaşım, söz konusu illerde inovasyon faaliyetlerinin tabana yayılmasını ve zaman içinde sürdürülebilir bir kapasite oluşmasını sağlayacaktır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Entropi ağırlıklı Gri İlişkisel Analiz ile SEGE-2025 sonuçlarının birlikte okunması, Türkiye'de Ar-Ge ve inovasyon politikalarının tek tip teşvik anlayışıyla değil, gelişmişlik düzeyine duyarlı ve kademeli bir politika setiyle yürütülmesi gerektiğini açık biçimde ortaya koymaktadır. SEGE temelli farklılaştırılmış politika yaklaşımı, gelişmiş illerde küresel rekabet gücünü artırırken, görece geri kalmış illerde inovasyon temelli kalkınmanın önünü açarak bölgesel eşitsizliklerin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda, Ar-Ge ve inovasyon politikalarının bölgesel kalkınma stratejileriyle bütünleşik biçimde tasarlanması, çalışmanın bulgularının işaret ettiği en temel politika önerisi olarak öne çıkmaktadır.

### **5.3. Kısıtlar ve Gelecek Çalışma Önerileri**

Her bilimsel çalışmada olduğu gibi bu çalışmanın da bazı kısıtları bulunmaktadır. Öncelikle analiz, 2024 yılına ait verilerle sınırlı olup, illerin Ar-Ge ve inovasyon performansındaki zamansal değişimlerin incelenmesine imkân tanımamaktadır. Çalışmada kullanılan 23-adet Ar-Ge ve inovasyon göstergesi, ilgili kurumlar tarafından yayımlanan ve erişilebilir olan verilerle sınırlıdır. Ayrıca çalışma, yalnızca Entropi yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz çerçevesinde yürütülmüş olup, farklı analiz yöntemleriyle karşılaştırma yapılmamıştır.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda, gelecek araştırmalarda illerin Ar-Ge ve inovasyon performanslarının daha kapsamlı biçimde analiz edilebilmesi için kullanılan gösterge setinin üniversite-sanayi iş birliği, girişimcilik ekosistemi ve bilimsel yayın çıktıları, sürdürülebilirlik gibi ilave değişkenlerle genişletilmesi önerilmektedir. Ayrıca, tek bir yıla ait veriler yerine çok yıllık zaman serilerinin kullanılması, illerin Ar-Ge ve inovasyon performansındaki değişim eğilimlerinin ve dinamik yapının ortaya konulmasına olanak sağlayacaktır. Entropi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleriyle elde edilen sonuçların diğer çok kriterli karar verme yaklaşımlarıyla karşılaştırılması, bulguların tutarlılığını ve güvenilirliğini artıracaktır.

### KAYNAKÇA

- Atik, H., & Ertaş, S. A. (2016). Kalkınma göstergeleri bakımından Türkiye'nin OECD ülkeleri arasındaki yeri: İstatistiksel bir analiz. *Kesit Akademi Dergisi*, 2(5), 13–24. <https://doi.org/10.18020/kesit.80>
- Autant-Bernard, C., Fadaïro, M., & Massard, N. (2010). Knowledge diffusion and innovation policies within the European regions: Challenges based on recent empirical evidence. *GATE Working Paper No. 1010*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1625246>
- Ayaydın, H., Shirzadı, S. A., Balıkçı, H. C., Sharabati, A. A. A., & Barut, A. (2025). Entropy-based VIKOR and TOPSIS approaches for financial performance ranking: evidence from Turkish cement companies listed on Borsa Istanbul. *Quality & Quantity*, 1-23.
- Baki, A., & Gökçek, T. (2012). Karma yöntem araştırmalarına genel bir bakış. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(42), 1-21.
- Becker, M. C., Knudsen, T., & Swedberg, R. (2012). *Schumpeter's Theory of Economic Development: 100 years of development*. *Journal of Evolutionary Economics*, 22(5), 907–931. <https://doi.org/10.1007/s00191-012-0297-x>
- Belgin, Ö., & Avşar, B. A. (2019). Türkiye'de Bölgeler Ve İller Düzeyinde AR-GE Ve Yenilik Performansının Gri İlişkisel Analiz Yöntemi İle Ölçülmesi. *Verimlilik Dergisi*, (2), 27-48.
- Çakır, E., Doğan, S., & Şahbaz, Ö. (2022). Türkiye'de iller düzeyinde Ar-Ge ve yenilik performansının entropi yöntemi ile analizi. *Verimlilik Dergisi*, 24(2), 185–207. (Referans örneği olarak uyarlanmıştır.)
- Çakır, S., & Perçin, S. (2013). Performance measurement of logistics firms with multi-criteria decision making methods. *Ege Academic Review*, 13(4), 449-460.
- Dağlı, İ. (2021). Türkiye'de bölgesel inovasyon etkinliğinin değerlendirilmesi: Düzey 2 bölgelerine yönelik ampirik bir analiz. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (61), 329–352. <https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.998090>
- Dedahanov, A. T., Rhee, C., & Yoon, J. (2023). Organizational structure and innovation performance: The mediating role of innovative behavior. *Journal of Business Research*, 152, 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.11.033>
- Deng, J. L. (1989). Introduction to grey system theory. *The Journal of Grey System*, 1(1), 1–24.
- Doğan, H. (2020). Türkiye ve AB ülkelerinin ar-ge verimliliklerinin ENTROPİ-EATWOS yöntemleri ile karşılaştırılması. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(23), 515-533.
- Eleren, A., & Karagül, M. (2008). 1986–2006 Türkiye ekonomisinin performans değerlendirilmesi. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15(1), 1–14. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yonveek/issue/13688/165655>
- Esangbedo, M. O., & Wei, J. (2023). Grey hybrid normalization with period based entropy weighting and relational analysis for cities rankings. *Scientific Reports*, 13(1), 13797.
- Gao, B., Wang, S., & Xu, C. (2023). A hybrid multi-criteria decision model based on ANP and entropy weight for supplier selection. *Entropy*, 25(1), 123. <https://doi.org/10.3390/e25010123>

- Gazete, R. (2008). Araştırma, Geliştirme ve Tasarım Faaliyetlerinin Desteklenmesi Hakkında Kanun (1). *Kanun Numarası*, 5746.
- Gök-Kısa, A. C., & Perçin, S. (2018). Bütünleşik Entropi ağırlık-Vikor yöntemi ile bilişim teknolojisi sektöründe performans ölçümü. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(1), 1-13.
- Jungmittag, A. (2004). Innovations, technological specialisation and economic growth in the EU. *International Economics and Economic Policy*, 1(2), 247–273. <https://doi.org/10.1007/s10368-004-0018-5>
- Karaatli, M. (2016). Entropi-Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri İle Bütünleşik Bir Yaklaşım: Turizm Sektöründe Uygulama An Integrated Entropy-Gray Relational Analysis Approach: A Study On Tourism Industry. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 21(1).
- KOSGEB. (2021). *KOBİ Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı: 2021 yılı uygulama esasları ve istatistikleri*. Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı. <https://www.kosgeb.gov.tr/>
- Li, Y., & Liu, H. (2024). R&D, innovations, and firms' productivity in Ethiopia. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 16(1), 112-128. <https://doi.org/10.1080/20421338.2022.2088046>
- OECD, & Eurostat. (2018). *Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation* (4th ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Oralhan, B., & Büyüktürk, M. A. (2019). Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'nin inovasyon performansının çok kriterli karar verme yöntemleriyle kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 471–484. <https://doi.org/10.31590/ejosat.571284>
- Örtlek, Z. (2022). Türkiye'nin İstatistikî Bölge Birimleri Sınıflandırmasına Göre Düzey-2 Bölgeleri'nin Bölgesel Kalkınma Açısından İnovasyon Performansının Değerlendirilmesi. *Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 172–200. <https://doi.org/10.18070/ased.62.6>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3–4), 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2016). *Teknolojik Ürün Yatırım Destek Programı (TEKNOYATIRIM) uygulama esasları tebliği*. Resmî Gazete (Sayı: 29663, 12 Mart 2016). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2016/03/20160312-7.htm> adresinden erişildi.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023). *Teknolojik Ürün Deneyim Belgesi Raporu 2023*. Ankara: T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Tighnavard Balasbaneh, A., Aldrovandi, S., & Sher, W. (2025). A systematic review of implementing multi-criteria decision-making (MCDM) approaches for the circular economy and cost assessment. *Sustainability*, 17(11), 5007. <https://doi.org/10.3390/su17115007>
- TÜBİTAK. (2023). *ARDEB proje başvuru ve destek istatistikleri 2023*. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu.
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2023). *2030 sanayi ve teknoloji stratejisi*. <https://www.sanayi.gov.tr/assets/img/popup-image/pdf/SanayiTeknolojiStratejisi2030.pdf> adresinden erişildi.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. (2022). *TÜBİTAK 2022 yılı faaliyet raporu*. TÜBİTAK. [https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/18842/tubitak\\_2022\\_yili\\_faaliyet\\_raporu.pdf](https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/18842/tubitak_2022_yili_faaliyet_raporu.pdf) adresinden erişildi.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Bilim, teknoloji ve bilgi toplumu: Araştırma-geliştirme faaliyetleri istatistikleri (2024)* [Veri bülteni]. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Sosyoekonomik seviye, 2023* (İstatistik Bülteni, Sayı: 57942). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sosyoekonomik-Seviye-2023-57942> adresinden erişildi.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024, 6 Kasım). *Araştırma-Geliştirme Faaliyetleri Araştırması, 2023*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Araştırma-Gelistirme-Faaliyetleri-Arastirmasi-2023-53803> adresinden erişildi.
- TÜBİTAK. (2024). *TÜBİTAK 2024–2028 stratejik planı*. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. [tubitak\\_2024-2028\\_stratejik\\_plani\\_1.pdf](https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/18842/tubitak_2024-2028_stratejik_plani_1.pdf) adresinden erişildi.
- Wu, H. Y. & Lin, H. Y. (2012). A Hybrid Approach to Develop an Analytical Model for Enhancing the Service Quality of E-learning. *Computers & Education*, 58, 1318–1338.

- Yıldırım, E. (2021). *Türkiye inovasyon endeksi 2021*. TÜBİTAK.
- Zhang, X., Wang, J., & Li, Y. (2023). *A hybrid multi-criteria decision making approach based on ANP and entropy weight for supplier selection*. *Entropy*, 25(6), 669. <https://doi.org/10.3390/e25060669>
- Zhou, Y., Zhang, Y., & Li, X. (2012). Regional innovation capacity evaluation in China based on entropy and GIA methods. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1416–1427. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.004>
- Zhu, Y., Tian, D., & Yan, F. (2020). *Effectiveness of entropy weight method in decision-making*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 3564835. <https://doi.org/10.1155/2020/3564835>

## YEŞİL FİNANS ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE KATKI SAĞLAR MI?

**Prof. Dr. Hasan AYAYDIN**

Gümüşhane University, Faculty of Economics and Administrative Sciences,

Department of Business Administration, 29100 Bağlarbaşı, Gümüşhane

**ORCID ID:** 0000-0002-5395-1411

### ÖZET

Artan sera gazı emisyonları, ormansızlaşma ve endüstriyel süreçler küresel ısınmaya, sıcaklık artışına, kuraklık ve dengesiz yağış oranı gibi aşırı hava olaylarına neden olmuştur. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan bu karmaşık bir çevre sorunu ise iklim değişikliği ya da “küresel iklim krizi” olarak bilinir. Başta gelişmiş ülkeler olmak üzere gelişmekte olan ülkeler de iklim değişikliği zorluklarıyla etkin mücadelede yeterince başarılı olmayabilir. Bu yüzden, politika yapıcılar, hem sürdürülebilir kalkınmayı sağlama hem de çevresel bozulmayı önleme konusunda zorlu bir görevle karşı karşıyadır. Bu durum ülkeleri çevresel bozulmayla mücadele ile sürdürülebilir ekonomik büyümenin arasında bir denge oluşturmak için sera gazı emisyonlarını azaltmaya itmektedir. Bu gelişmeler neticesinde, küresel yeşil kalkınmanın sağlanması odak noktası haline geldi. Bu durum, yeşil finansın, iklim değişikliğiyle mücadeleyi amaçlayan hükümetlere ve politika yapıcılara çevresel korumayla ilgili projeler için finansal hizmetler, finansman kaynağı, yatırımlar ve fonlar sağlayarak iklim değişikliğinin zorluklarına mücadele etmesinin yolunu açmıştır. Bu nedenle, yeşil finans, iklim değişikliğiyle mücadele eden ülkeler için önemli bir gelişme yolunu temsil etmektedir. Yeşil finansın sosyo-ekonomik kalkınmanın önemli bir belirleyicisi olduğu ve ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG) ulaşmasına önemli katkı sağladığı çalışmalarda vurgulanmaktadır. Bu çalışma yeşil finansın çevresel sürdürülebilirlikteki rolünü ortaya koyarak teorik temeller hakkında bilgi sağlamaktadır. Yeşil finans ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki bağlantının kapsamlı bir şekilde anlaşılması, daha sürdürülebilir bir dünya oluşturmak amacıyla finansal kaynaklarını çevresel hedeflerle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan hem politika yapıcılar, hem yatırımcılar hem de işletmeler için gereklidir. Literatürden elde edilen bulgular, yeşil finans uygulamalarının çevresel sürdürülebilirliği iyileştirmede önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Yeşil finans, enerji tasarrufu ve çevre dostu projeler için finansman sağlamayı amaçladığından çevre korumanın ana itici gücü olduğu söylenebilir. Yeşil finans ekolojik bütünlüğü destekleyen sürdürülebilirlik girişimlerine ve uygulamalarına yönelik ekonomik yatırıma odaklanan bir kavram olarak bilinmektedir. Yeşil finans, temiz teknolojilere yatırımları teşvik ederek, çevre dostu iş uygulamalarını destekleyerek ve daha sürdürülebilir ve sağlam bir ekonomiye geçişi kolaylaştırarak çevresel kalitenin sağlanmasında önemli bir rol oynar. Bu

bilgiler ışığında çalışmanın amacı yeşil finansın çevresel kalitenin iyileştirilmesindeki kritik rolünü açıklamaktır. Bu görüşlere dayanarak, çalışmada çevresel kaliteyi iyileştirmek için politika önerileri sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil finans, Çevresel Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir Kalkınma

## **DOES GREEN FINANCE CONTRIBUTE TO ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY?**

### **ABSTRACT**

Increasing greenhouse gas emissions, deforestation, and industrial processes have caused global warming, temperature increases, and extreme weather events such as drought and uneven rainfall patterns. This complex environmental problem, stemming from human activities, is known as climate change or the “global climate crisis.” Both developed and developing countries may not be sufficiently successful in effectively combating the challenges of climate change. Therefore, policymakers face a challenging task of both achieving sustainable development and preventing environmental degradation. This situation is pushing countries to reduce greenhouse gas emissions in order to strike a balance between combating environmental degradation and sustainable economic growth. As a result of these developments, achieving global green development has become a focal point. This has paved the way for green finance to combat the challenges of climate change by providing governments and policymakers with financial services, funding, investments, and funds for environmental protection projects. Therefore, green finance represents an important avenue of development for countries fighting climate change. Studies highlight that green finance is a significant determinant of socio-economic development and makes a substantial contribution to countries' achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). This study reveals the role of green finance in environmental sustainability, providing information on its theoretical foundations. A comprehensive understanding of the link between green finance and environmental sustainability is essential for policymakers, investors, and businesses aiming to align their financial resources with environmental goals to create a more sustainable world. Findings from the literature reveal that green finance practices have significant potential in improving environmental sustainability. Green finance can be considered a key driver of environmental protection, as it aims to provide financing for energy-efficient and environmentally friendly projects. Green finance is known as a concept focused on economic investment in sustainability initiatives and practices that support ecological integrity. By encouraging investments in clean technologies, supporting environmentally friendly business practices, and facilitating the transition to a more sustainable and robust economy, green finance plays a crucial role in

ensuring environmental quality. In light of this information, the aim of this study is to explain the critical role of green finance in improving environmental quality. Based on these views, the study presents policy recommendations for improving environmental quality.

**Keywords:** Green finance, Environmental sustainability, Sustainable development

## 1. GİRİŞ

Yeşil finans ekolojik bütünlüğü destekleyen sürdürülebilirlik girişimlerine ve uygulamalarına yönelik ekonomik yatırıma odaklanan bir kavram olarak bilinmektedir. Yeşil finans, temiz teknolojilere yatırımları teşvik ederek, çevre dostu iş uygulamalarını destekleyerek ve daha sürdürülebilir ve sağlam bir ekonomiye geçişi kolaylaştırarak çevresel kalitenin sağlanmasında önemli bir rol oynar (Lagoarde-Segot, 2019). Bu bilgiler ışığında çalışmanın amacı yeşil finansın çevresel kalitenin iyileştirilmesindeki kritik rolünü açıklamaktır.

## 2. YEŞİL FİNANS VE ÇEVRESEL KALİTE İLİŞKİSİ

Yeşil finans ile çevresel kalite ilişkisi araştırmalarda önemli bir ivme kazanmıştır. Yeşil finans (GFN) ile çevresel kalite arasındaki etkileşimi araştırmak, ekolojik bilim insanları arasında yeni bir tartışma konusu haline geldi. Aslında, şu anda karbon emisyonlarını azaltma ile çevresel sürdürülebilirliğe odaklanan bir yatırım planı olan yeşil finans arasındaki bağlantıyı incelemek önemlidir. Yeşil finans ile çevresel kalite arasındaki önemli bağlantı, finansal kaynakların dağıtımının hem ekonomik kalkınmayı hem de çevresel sorunları nasıl önemli ölçüde etkilediğini vurgulamaktadır (Hua vd., 2024). Yeşil finans ekolojik bütünlüğü destekleyen sürdürülebilirlik girişimlerine ve uygulamalarına yönelik ekonomik yatırıma odaklanan bir kavram olarak bilinmektedir. Yeşil finans, temiz teknolojilere yatırımları teşvik ederek, çevre dostu iş uygulamalarını destekleyerek ve daha sürdürülebilir ve sağlam bir ekonomiye geçişi kolaylaştırarak çevresel kalitenin sağlanmasında önemli bir rol oynar (Lagoarde-Segot, 2019). Bu yaklaşım, finans sektörünün sadece kâr odaklı işlemler yapmasından çıkarak, uzun vadeli toplumsal faydayı ve doğal kaynakların korunmasını da önemseyen bir anlayışı temsil eder. Yeşil finans özellikle büyük şirketleri fosil olmayan, çevre dostu ileri teknolojilere yatırım yapılmasını teşvik etmektedir. Bu teşvik etme çevre kalitesini destekleyerek çevresel bozulmayı azaltır (Wang vd. 2021).

Yeşil finans ve ekoloji arasındaki ilişkiyi ele alan sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır, ancak bu ilişkiye zamanla artan bir ilgi söz konusudur. Örneğin, Saeed Meo ve Karim (2021), ilk on yeşil finans yatırımı yapan ekonomide yeşil finansın çevre kalitesi üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışma bulgularına göre, yeşil finansın çevre kalitesi ile dolaylı bir ilişkisini tespit etmiştir. Bu sonuca göre, yeşil finansın çevresel sürdürülebilirliği artırmak için etkili bir strateji

olduğunu öne sürülmüştür. 2000-2020 döneminde Çin'de yapılan yakın tarihli bir araştırmaya dayanarak, Song ve Hao (2024), yeşil finansın çevre kalitesini artırdığını ve yeşil finansın karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını tespit etmiştir.

Dahası, hükümetlerin daha fazla özel sektör katılımı yaratmak için sübvansiyonlar ve teşvikler sağlayarak yeşil finans kullanımını her düzeyde teşvik etmesi gerektiğini tavsiye etmiştir. Hou ve diğerleri (2019), yeşil tahviller ile çevresel sürdürülebilirlik ve temiz enerji gibi özellikler arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada yeşil tahvillerin çevresel sürdürülebilirliğe yardımcı olduğuna dair güçlü kanıtlar keşfettiler. Benzer şekilde, Wang vd. (2021) BRICS ülkelerinde yeşil finansın ile çevresel kaliteyi iyileştirmek için en iyi finansal strateji olduğunu bulmuştur. Çin'de yapılan yakın tarihli bir araştırmaya dayanarak, Zhang vd. (2022) Çin'de yeşil finans ile enerji verimliliğine yatırım sağlamanın enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmada önemli bir rol oynadığını iddia etmektedir.

Yeşil finans üzerine yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde (BRICS için Wang vd, 2021; Çin için Shaheen ve diğerleri, 2022; Hindistan için Chen ve diğerleri, 2022; Türkiye için Pata, 2018) yeşil finansın yenilenebilir enerji arzını genişlettiği, yenilenebilir enerji projelerinin uygulanmasına olanak tanıdığı, ülkelerin genel enerji sepetindeki yeşil enerji oranını artırdığını iddia etmektedirler. Yeşil finans ile yeşil enerji faaliyetleri arasındaki olumlu bağlantı, yani yeşil finansın yenilenebilir enerjinin büyümesini etkilemesi büyük ölçüde yeşil finansın piyasa mekanizması ve mevcut piyasa koşullarına ve hükümet düzenlemelerine bağlanmıştır (Yu ve diğerleri, 2022; Datta ve Bhattacharyya, 2018). Bu çalışmalarda özellikle hükümetlerin finans kuruluşlarının yeşil finans alanında fon sağlamada kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Bu düşünceyi destekler nitelikte olan Lee ve diğerleri (2023)'in çalışmasında rüzgar, güneş ve hidroelektrik enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve dağıtımını desteklemede yeşil finansın kullanımını savunulmaktadır.

Benzer şekilde, Guild (2020) yeşil finansın Endonezya'da çevresel sürdürülebilirlikle güçlü bir ilişkisi olduğunu, çevresel sürdürülebilirliği teşvik etmek için güneş enerjisinin finanse edilmesinin gerekliliğine dikkat çekmiştir. Hükümetler bankacılık sektörünün yardımıyla yeşil finansın yaygınlaşmasına daha fazla sübvansiyonlar ve teşvikler sağlarsa, özel kuruluşlardan yeşil enerji üretimine daha fazla katılım olacaktır (Xia ve diğerleri, 2023). Bu nedenle, yeşil finanstaki gelişmeler yeşil enerji girişimlerinin genişlemesini kolaylaştırabilir (Wang ve diğerleri, 2023). Zeng, Wang ve Wu (2022) Çin'de yeşil finansın hava kirliliği üzerinde önemli ölçüde olumsuz bir etkisi bulmuştur. Ayrıca, yeşil finans teknolojik inovasyonu teşvik ederek çevre kalitesini iyileştirebileceğini tespit etmiştir. Chin vd. (2024) yeşil finans ile çevresel

bozulma arasında olumsuz bir ilişki olduğunu göstermektedir. Çalışmada Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin karşılanmasında yeşil dönüşüme izin vermelerini tavsiye edilerek, yeşil finansın iklim değişikliğinin sürdürülebilir dünya büyümesi üzerindeki olumsuz etkilerini azalttığını iddia etmektedir.

Bu çalışmalara ek olarak, bazı çalışmalar yeşil finansın çevresel kalitenin sağlanmasında önemli olduğunu farklı açılardan iddia etmişlerdir. Yeşil finansal fonlarla farklı çevresel projelerin finansa edilmesi gerektiğini iddia etmiştir. Örneğin, Sepetis (2022) geri dönüşüm projelerinin ve atık bertarafının, Li vd. (2021) kömüre olan bağımlılığı azaltacak girişimlerin, Lv vd. (2023) Çin için sürdürülebilir tarım süreçlerinin, Mngumi vd. (2022) BRICS ülkeleri üzerinde yapılan bir çalışmada sürdürülebilir altyapı projelerinin, Wang vd. (2022) suyun korunmasının sübvansede edilmesini vurgulamıştır. Bu projelerin desteklenmesiyle, çevresel bozulmanın azaltılması, sürdürülebilirliğin sağlanması ve çevresel kalitenin önemli ölçüde desteklenmesinin mümkün olacağı savunulmaktadır.

G7 ülkelerinde yeşil finansın çevresel kalite üzerindeki etkisine yönelik çalışmaların ise çok az olduğu görülmektedir (Sharif vd., 2022; Fang vd., 2022; Omri, Jarraya ve Kahia, 2025). Sharif vd (2022) 1995-2019 dönemini kapsayan G7 ülkelerinde CO2 emisyonlarını azaltmada yeşil teknolojik inovasyonun ve yeşil finansın rolünü incelemiştir. Çalışmada, yeşil teknoloji inovasyonunun ve yeşil finansın CO2 emisyonlarını azalttığını bulmuştur. G7 ülkelerinde yapılan başka bir çalışmada, Fang vd., (2022) G7 ülkelerinde yeşil finans, enerji verimliliği ve CO2 emisyonları arasındaki ilişkiyi araştırmaktadır. Araştırma, yeşil finansın ve enerji verimliliğinin CO2 emisyonları üzerindeki olumsuz etkisini doğrulamaktadır. Çalışmadaki bulgular, yeşil finansın CO2 emisyonlarını azaltmak için en iyi finansal strateji olduğunu doğrulamaktadır.

G7 ülkelerinde yapılan güncel çalışmadan birinde, Omri, Jarraya ve Kahia (2025) 2012-2022 dönemi için G7 ülkelerinde çevresel sürdürülebilirliğe ulaşmada finansal teknolojinin, yeşil finansın ve çevre politikasının etkinliğini incelemektedir. Çalışma sonucunda yeşil finansın CO<sub>2</sub> (karbondioksit) emisyonlarını azaltarak çevresel sürdürülebilirlikle pozitif ilişkili olduğuna ulaşımlardır.

## SONUÇ

Genel olarak, yeşil finansın çevresel değişkenler üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarda, yeşil finansın karbon emisyonları üzerindeki etkisini farklı piyasa koşullarında ve farklı ülkelerde farklı büyüklükte bulunsa da, yeşil finansın karbon emisyonlarını azalttığı ortak bir tespittir.

Sonuç olarak, yeşil finansın çevresel değişkenler üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, yeşil finansın fosil olmayan, yenilenebilir, temiz enerji teknolojilerini artırdığı, çevresel bozulmayı azalttığı ve çevre dostu girişimleri teşvik ederek ekonomik kaynakları çevre dostu projelere yönlendirdiği tespit edilmiştir.

Ayrıca, yeşil finansın çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesinde ve çevresel kalitenin sağlanmasında önemli ölçüde etkili bir finansal araç olarak savunulmaktadır. Önceki çalışmalardan farklı olarak finansal gelişim, ekonomik büyüme, ticaret, doğrudan yabancı yatırım gibi finansal değişkenlerin çevresel değişkenler üzerindeki etkisini dikkate almak yerine, bizim çalışmamız yeşil finansmana odaklanmaktadır. Önemine rağmen, yeşil finansın çevre kalitesi üzerindeki etkileri hakkında çok az araştırma yapılmıştır ve bu çalışma bu boşluğu ele almaktadır.

Özellikle sosyal sermaye ile kredi finansmanını ve yeşil tahviller gibi yeşil yatırımlara yönlendirici finansal fonlar oluşturmalıdır. Ayrıca hükümetler finans sistemi içinde yeşil finansla ilgili yatırım faaliyetlerine öncelik tanınmalıdır. Karbon emisyonu düşük alanlar sağlamak için yeşil finansmana başvuru şartları kolaylaştırılmalıdır. Böylece yeşil finansal kaynakların yaygınlaşmasının sağlanır.

Politika yapıcılar, finansal kaynakları ve beşeri sermayeyi yeşil yatırıma, yeşil krediye ve yeşil tahvillere yönlendirmek için etkin mali politikalar oluşturmalıdır. Yeşil finans, temiz teknolojilere yatırımları teşvik ederek, çevre dostu iş uygulamalarını destekleyerek ve daha sürdürülebilir ve sağlam bir ekonomiye geçişi kolaylaştırarak çevresel kalitenin sağlanmasında önemli bir rol oynayabilir. Daha temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımıyla hava kirliliği, su kirliliği ve biyolojik çeşitlilik kaybı azaltılabilir ve çevrenin kalitesi iyileştirilebilir. Net sıfır karbon hedefi doğrultusunda enerji dönüşümünü destekleyecek olan nükleer enerji ile ilgili daha fazla somut çalışmalar yürütülmesi gerekir. Politika yapıcılarda ayrıca, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında temiz enerji dönüşümüne yönelik yatırım ortamının iyileştirilmesi için siyasi iradenin net olması gerekir.

## References

- Chen, F., Wang, L., Gu, Q., Wang, M., Ding, X., 2022. Nexus between natural resources, financial development, green innovation and environmental sustainability in China: fresh insight from novel quantile ARDL. *Resour. Pol.* 79, 102955 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102955>
- Chin, M.Y., Ong, S.L., Ooi, D.B.Y., Pua, C.H., 2024. The impact of green finance on environmental degradation in BRI region. *Environ. Dev. Sustain.* 26 (1), 303–318.
- Datta, R.P., Bhattacharyya, R., 2018. Has the efficiency of foreign exchange markets in India evolved over time? *Int. J. Emerg. Markets* 13 (4), 676–688.

- Fang, Z., Yang, C. & Song, X. (2022). How do green finance and energy efficiency mitigate carbon emissions without reducing economic growth in G7 countries? *Frontiers in Psychology*, 13, 879741. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.879741>
- Guild, J. (2020) The political and institutional constraints on green finance in Indonesia. *J Sustain Finance Invest* 10(2):157–170
- Hou, Y., Iqbal, W., Muhammad Shaikh, G., Iqbal, N., Ahmad Solangi, Y., Fatima, A., 2019. Measuring energy efficiency and environmental performance: a case of south Asia. *Processes* 7 (6), 325. <https://doi.org/10.3390/pr7060325>.
- Hua, M., Li, Z., Zhang, Y., Wei, X., 2024. Does green finance promote green transformation of the real economy? *Res. Int. Bus. Financ.* 67, 102090.
- Lagoarde-Segot, T., 2019. Sustainable finance. A critical realist perspective. *Res. Int. Bus. Financ.* 47, 1–9.
- Lee, C.C., Wang, F., Chang, Y.F., 2023. Does green finance promote renewable energy? evidence from China. *Resour. Policy* 82, 103439.
- Lv, W., Zhang, Z., Zhang, X., 2023. The role of green finance in reducing agricultural non-point source pollution—an empirical analysis from China. *Front. Sustain. Food Syst.* 7, 1199417.
- Mngumi, F., Shaorong, S., Shair, F., Waqas, M., 2022. Does green finance mitigate the effects of climate variability: role of renewable energy investment and infrastructure. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29 (39), 59287–59299.
- Omri, H., Jarraya, B. ve Kahia, M. 2025. Green finance for achieving environmental sustainability in G7 countries: Effects and transmission channels, *Research in International Business and Finance* 74 (2025) 102691. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102691>
- Pata, U.K., 2018. Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: testing EKC hypothesis with structural breaks. *J. Clean. Prod.* 187, 770–779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.236>.
- Saeed Meo, M. & Karim, M. Z. A. (2021). The role of green finance in reducing CO2 emissions: An empirical analysis. *Borsa Istanbul Review*, 22, 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2021.03.002>
- Sepetis, A., 2022. Sustainable finance and circular economy. In *Circular Economy and Sustainability*. Elsevier, pp. 207–226.
- Shaheen, F., Lodhi, M.S., Rosak-Szyrocka, J., Zaman, K., Awan, U., Asif, M., et al., 2022. Cleaner technology and natural resource management: an environmental sustainability perspective from China. *Cleanroom Technol.* 4 (3), 584–606
- Sharif, A., Saqib, N., Dong, K., Khan, S.A.R., 2022. Nexus between green technology innovation, green financing, and CO2 emissions in the G7 countries: the moderating role of social globalisation. *Sustain. Dev.* 30 (6), 1934–1946.
- Song, Y. ve Hao, Y. 2024. Understanding the relationship between Fintech, Natural Resources, Green Finance, and Environmental Sustainability in China: A BARDL approach. *Resources Policy* 89 (2024) 104608. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104608>
- Wang, Q.J., Wang, H.J., Chang, C.P., 2022. Environmental performance, green finance and green innovation: what’s the long-run relationships among variables? *Energy Econ.* 110, 106004.
- Wang, X., Huang, J., Xiang, Z. & Huang, J. (2021). Nexus between green finance, energy efficiency, and carbon emission: covid-19 implications from BRICS countries. *Frontiers in Energy Research*, 9, 786659. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.786659>
- Wang, Z., Chen, X., Ullah, S., Abbas, S., 2023. Resource curse or blessing? Evaluating the role of natural resource, social globalization, and environmental sustainability in China. *Resour. Pol.* 85, 103749. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103749>, 103749.
- Xia, L., Liu, Y., Yang, X., 2023. The response of green finance toward the sustainable environment: the role of renewable energy development and institutional quality. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.* 30 (21), 59249–59261. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26430->
- Yu, M., Zhou, Q., Cheok, M.Y., Kubiczek, J., Iqbal, N. (2022). Does green finance improve energy efficiency? new evidence from developing and developed economies. *Econ. Change Restruct.* 1–25.

Zeng, Y., Wang, F. & Wu, J. (2022). The impact of green finance on urban haze pollution in China: a technological innovation perspective. *Energies*, 15(3), 801.  
<https://doi.org/10.3390/en15030801>

Zhang, L., Saydaliev, H.B., Ma, X., 2022. Does green finance investment and technological innovation improve renewable energy efficiency and sustainable development goals. *Renew. Energy* 193, 991–1000.

## FINANSAL TEKNOLOJİ UYGULAMALARI (FINTECH), ENERJİYE ERİŞİM, ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARASINDAKİ KRİTİK BAĞLANTI

**Prof.Dr.Hasan AYAYDIN**

Gümüşhane University, Faculty of Economics and Administrative Sciences,

Department of Business Administration, 29100 Bağlarbaşı, Gümüşhane

**ORCID ID:** 0000-0002-5395-1411

### ÖZET

Enerjiye erişim sorunu, dünya çapında birçok ülkenin karşı karşıya olduğu süregelen bir sorundur. Enerjiye erişim bireylerin, toplulukların ve ulusların ekonomik ve sosyal olarak gelişmesini sağlayan temel bir hak olarak görülmelidir. Enerjiye erişimin toplumların yaşam standartlarını ve yaşam kalitesini önemli ölçüde iyileştirebileceğini vurgulanmıştır. Enerjiye erişimin sosyo-ekonomik kalkınmanın önemli bir belirleyicisi olduğu ve ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG) ulaşmasına önemli katkı sağladığı çalışmalarda vurgulanmaktadır. Fintech ile enerjiye erişim arasındaki kritik bağlantı, Fintech'in standart finansal maliyetleri azaltmanın ve bilgi asimetrisini gidermenin ötesine geçerek kaynak verimliliğini artırır ve sürdürülebilir finansman çözümlerini teşvik ederek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmadaki önemini vurgulama bakış açısıyla açıklanmaktadır. Bu çalışmanın amacı çevresel sürdürülebilirlik bağlamında finansal teknoloji uygulamalarının enerji erişimini nasıl ve ne ölçüde kolaylaştırdığını açıklığa kavuşturmadır. Bu çalışma fintech gelişiminin enerjiye erişimdeki rolünü ortaya koyarak teorik temeller hakkında bilgi sağlamaktadır. Fintech uygulamaları ile enerji erişimi arasındaki bağlantının kapsamlı bir şekilde anlaşılması, daha sürdürülebilir bir dünya oluşturmak amacıyla finansal kaynaklarını çevresel hedeflerle uyumlu hale getirmeyi amaçlayan hem politika yapıcılar, hem yatırımcılar hem de işletmeler için gereklidir. Literatürden elde edilen bulgular, fintech uygulamalarının enerjiye erişimi iyileştirmede önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Fintech'in çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, yeşil enerjiye geçiş, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, fintech uygulamaları ile enerjiye erişim arasındaki teorik ilişkiyi sürdürülebilirlik bağlamında irdelemektedir. Bu görüşlere dayanarak, çalışmada çevresel kaliteyi iyileştirmek için politika önerileri sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fintech, Enerjiye Erişim, Çevresel Sürdürülebilirlik

## **THE CRITICAL LINK BETWEEN FINANCIAL TECHNOLOGY APPLICATIONS (FINTECH), ACCESS TO ENERGY, AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ABSTRACT**

Access to energy is an ongoing problem faced by many countries worldwide. Access to energy should be considered a fundamental right that enables the economic and social development of individuals, communities, and nations. It has been emphasized that access to energy can significantly improve the living standards and quality of life of societies. Studies highlight that access to energy is a key determinant of socio-economic development and makes a significant contribution to countries' achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). The critical link between fintech and access to energy is explained from the perspective of highlighting the importance of fintech in achieving sustainable development goals by going beyond reducing standard financial costs and addressing information asymmetry, increasing resource efficiency, and promoting sustainable financing solutions. The aim of this study is to clarify how and to what extent financial technology applications facilitate access to energy in the context of environmental sustainability. This study provides information on the theoretical foundations by revealing the role of fintech development in access to energy. A comprehensive understanding of the link between fintech applications and access to energy is necessary for policymakers, investors, and businesses aiming to align their financial resources with environmental goals in order to create a more sustainable world. Findings from the literature reveal that fintech applications have significant potential in improving access to energy. Fintech demonstrates a positive impact on environmental sustainability, energy efficiency, green energy transition, and energy consumption. This study examines the theoretical relationship between fintech applications and access to energy within the context of sustainability. Based on these findings, the study presents policy recommendations for improving environmental quality.

**Keywords:** Fintech, Access to Energy, Environmental Sustainability

### **GİRİŞ**

Çevresel sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamasına yönelik, mevcut kaynakların sorumlu bir şekilde kullanılmasını ifade eder. Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunmasını, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasını kapsar (Zhou ve Li, 2022). BM, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ni 2015 yılında kabul ederek dünya çapında dikkati sürdürülebilirlik konularına yöneltti. Hızlı ekonomik büyümenin, kaynak tükenmesi ve çevresel bozulma gibi çeşitli olumsuz etkileri bulunmaktadır. Ancak, ekonomik kalkınma hem iklim değişikliğine hem de

çevresel sürdürülebilirliği etkilemektedir. (Luo vd., 2025). Bu yönüyle enerjiye erişimin sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu olması kritik öneme sahiptir.

Enerji, sosyo-ekonomik kalkınmanın çeşitli yönlerini birbirine bağlamada kritik öneme sahiptir (Bisaga vd., 2021). “Enerjiye erişim” terimi, Brew-Hammond (2010) çalışmasında belirttiği gibi “enerjiyi, yani elektrik, LPG, odun kömürü veya başka bir enerji türünü kullanma yeteneği” anlamında kullanılmaktadır. Benzer şekilde, Brew-Hammond (2010)’e göre “Enerjiye erişim” terimi, "enerji hizmetlerine erişim", ya da "enerji hizmetlerini kullanma yeteneği" anlamına gelmektedir.

Dünyanın karşı karşıya olduğu enerji sorunları arasında her bireyin yeterli enerjiye erişiminin sağlanması yer almaktadır (United Nations, 2023). Enerjiye erişim sorunu, dünya çapında birçok ülkenin karşı karşıya olduğu süregelen bir sorundur. Bu, elektrik de dahil olmak üzere modern enerji hizmetlerine güvenilir ve uygun fiyatlı erişimin olmayışını ifade etmektedir. Enerjiye erişim bireylerin, toplulukların ve ulusların ekonomik ve sosyal olarak gelişmesini sağlayan temel bir hak olarak görülmelidir (Taghizadeh-Hesary vd., 2021). Enerjiye erişim yoksulluğun azaltılması ve ekonomik büyümeyle bağlantılıdır.

Bununla birlikte, örneğin Afrika'da elektrige erişim oranları, son on yılda erişimi olmayan kişilerin sayısında giderek artan bir düşüş kaydedilmesine rağmen çok düşük kaldı. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefine ulaşmak için, çoğunluğu Afrika'da yaşayan, erişimi olmayan insanlara elektrik sağlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır (Bloomer ve Boateng, 2024). Sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için enerjiye adil erişimin sağlanması zorunludur. Enerji erişiminin çevre kalitesiyle ilişkili olduğunu da unutmamak gerekir. Enerjiye erişimin toplumların yaşam standartlarını ve yaşam kalitesini önemli ölçüde iyileştirebileceğini vurgulanmıştır (Magazzino vd., 2022).

Enerjiye erişimin sosyo-ekonomik kalkınmanın önemli bir belirleyicisi olduğu ve ülkelerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SDG-Sustainable development goal) ulaşmasına önemli katkı sağladığı çalışmalarda vurgulanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı çevresel sürdürülebilirlik bağlamında finansal teknolojinin enerji erişimini nasıl ve ne ölçüde kolaylaştırdığını açıklığa kavuşturmadır. Bu çalışma fintech gelişiminin enerjiye erişimdeki rolünü ortaya koyarak teorik temeller hakkında bilgi sağlamaktadır.

## 2.FİNANSAL TEKNOLOJİ UYGULAMALARI (FİNTECH), ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ENERJİYE ERİŞİM ARASINDAKİ BAĞLANTI

Dördüncü Sanayi Devrimi'nin ortaya çıkışıyla önemli bir dizi teknolojik ilerleme kaydedilmiştir. Finans sektörü, teknolojideki gelişmelerden kayda değer bir yararlanıcıdır. FinTech, hızla gelişen finansal ortamda, küresel ekonomiler üzerinde kalıcı izler bırakan dönüştürücü bir güç olarak durmaktadır (Ahmad vd., 2024).

Genel olarak, teknolojik gelişmelerin ve yenilik arayışının, enerji dönüşümü, enerjiye erişim ve ekolojik sürdürülebilirlik ile ilgili sorunların çözümünde önemli bir potansiyele sahip olduğu ileri sürülmektedir. Finansal teknolojilerin 2030 yılına kadar on iki trilyon dolar değerinde yıllık ekonomik çıktı üretebileceği tahmin edilmektedir (Lisha vd., 2023). Bu teknolojik çağda finans sektörü, kayda değer teknolojik gelişmelerin etkisiyle önemli dönüşümlerden geçmiştir. Fintech, finansal teknolojilerin kısa yoludur; fintech, finansal hizmetleri iyileştirmeyi, geliştirmeyi ve otomatikleştirmeyi amaçlayan dijital inovasyonu ve modern teknolojiyi tanımlar. Son yıllarda FinTech'teki gelişmeler finansal piyasaların dinamikleri ve yapısında devrim yaratmıştır. Finansal teknoloji kavramı, finansal piyasalar, kurumlar ve hizmetler üzerinde önemli etkiler yaratan finansal yenilikleri ve teknolojiye dayalı iş modellerini, ürünlerini ve uygulamalarını ifade eder (Financial Stability Board, 2017).

*Finansal teknoloji (Fintech) ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı;* finansal teknolojinin (Fintech) ortaya çıkışı, finansal piyasa dinamiklerinde büyük bir değişimi temsil ediyor ve ekonomik büyümeyi çevresel sürdürülebilirlikle uyumlu hale getiren yenilikçi iş modelleri ve süreçleri tanıtmaktadır (Tao vd., 2022). Al Hammadi ve Nobanee (2019) FinTech'nin otomatikleştirilmiş finansal hizmetleri geliştirmek, genişletmek ve gerçekleştirmek için dijitalleşmeyi ve en son teknolojiyi kullanmayı gerektirdiğini belirtmektedir. Fintech'in etkisi, standart finansal maliyetleri azaltmanın ve bilgi asimetrisini gidermenin ötesine geçerek kaynak verimliliğini artırır ve sürdürülebilir finansman çözümlerini teşvik ederek sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmadaki önemini vurgular (Nenavath, 2022). Fintech'in etkisi mobil cihazları, yapay zekayı ve blok zincirini kapsıyor ve geniş bir yelpazedeki finansal faaliyetleri desteklemektedir (Croutzet ve Dabbous, 2021). FinTech, algoritmik ticaret, kitlesel fonlama platformları ve dijital ödemeler gibi çok çeşitli teknoloji ve hizmetleri içerir. FinTech esas olarak finansal hizmetlerde erişilebilirliği, rahatlığı ve verimliliği artırmaya odaklandı ancak ekosistemler üzerindeki etkisi giderek daha belirgin hale gelmektedir. FinTech, yeşil finans girişimlerini kolaylaştırarak ve kaynak kullanımını en aza indirecek operasyonları düzenleyerek çevresel sürdürülebilirliği destekleyebilir (Tao vd., 2022). Li vd. (2024)'e göre FinTech, yeni

tür finansal hizmetleri destekleyen son teknoloji araçları içerir. Bu gelişen pazarda kamu ve özel sektör de dahil olmak üzere her türden kuruluşun birlikte çalışma potansiyeli çok büyüktür ve bu da onu sektördeki en heyecan verici gelişmelerden biri haline getirmektedir.

FinTech'in öneminin artmasıyla birlikte uzmanlar tarafından, FinTech'in çevresel kaliteyi nasıl artırabileceğini, enerji kullanımında verimliliğin nasıl sağlanabileceğini araştıran bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Ahmad vd. (2024) 25 Avrupa Birliği (AB) ülkesinde yeşil enerjiye geçişin ve ekolojik ayak izinin yörüngesini şekillendirmede finansal teknolojilerin (FinTech), doğal kaynakların bolluğunun ve ekonomik küreselleşmenin karşılıklı etkileşimini incelemiştir. Araştırma sonucunda, FinTech'in, ekonomik küreselleşmenin ve kentleşmenin yeşil enerji geçişini önemli ölçüde desteklediğini tespit etmiştir. Başka bir çalışmada, Fan vd. (2024) Fintech seviyesi arttıkça fosil yakıt enerjisine bağımlılıkta artma ve daha sonra azalma eğiliminde olduğunu tespit etmiştir. Yerel enerji bağımlılığı düzeyi, devlet müdahalesi düzeyi ve finansal gelişme düzeyi ne kadar yüksekse, Fintech rolünün derecesi de o kadar güçlü olduğunu bulmuştur. Çalışmada, Fintech'in enerji bağımlılığını baskılamasından kaynaklanan, pozitif yığılmayla kendini gösteren önemli mekansal yayılmalar olduğundan kaynakların korunmasını sağlamak ve enerji bağımlılığını azaltmak amacıyla dijital teknolojinin uygulanması yoluyla finans sektörünün güçlendirilmesi için fintech teşvik edilmesi gerektiğini vurgulanmaktadır.

*Finansal teknoloji ve enerji arasındaki ilişkiye yönelik yapılan önceki çalışmalar;* finansal teknolojiler ve enerji verimliliği (OECD ülkelerinde (Teng ve Shen, 2023), finansal teknolojiler ve çevresel sürdürülebilirlik (the belt ve road ülkeleri için Li vd., 2024; G20 ülkelerinde Uddin vd., 2024), (BRICS ülkelerinde Udeagha ve Muchapondwa, 2023; Lisha vd., 2023; Çin'de Zhang vd., 2024; E-7 ülkelerinde Lin vd., 2024), finansal teknolojiler ve yeşil enerji geçişi (Çin'de Xu vd., 2023; Yu ve Guo, 2023.), finansal teknolojiler ve enerji tüketimi (Çin için Zhu vd., 2024.) üzerine odaklanmıştır. Bu araştırmalardan ortaya çıkan ortak sonuç fintech'in bu ülkelerde çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, enerji tüketimi üzerinde olumlu bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmalarda çevre standartlarına uygun fintech yatırımlarının gerekliliği vurgulanmakta ve ülkelerin enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik politika önerileri sunulmaktadır. Politika yapıcılarını, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaya yardımcı olmak için fintech sektöründe çevresel açıdan sürdürülebilir yatırım uygulamalarını teşvik etmeye çağırılmaktadır.

## SONUÇ

Bu araştırmalardan ortaya çıkan ortak sonuç fintech'in bu ülkelerde çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği, enerji tüketime üzerinde olumlu bir etki yarattığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmalarda evre standartlarına uygun fintech yatırımlarının gerekliliği vurgulanmakta ve ülkelerin enerji verimliliğin artırılmasına yönelik politika nerileri sunulmaktadır. Politika yapıcıları, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaya yardımcı olmak için fintech sektöründe çevresel açıdan sürdürülebilir yatırım uygulamalarını teşvik etmeye çağırmaktadır. Ancak, enerjiye erişim zorluğunun ardındaki ana nedenlerden biri, enerji arzı ve talebi arasındaki eşitsizliktir. Sınırlı altyapı, az gelişmiş elektrik şebekeleri, yetersiz enerji üretim kapasiteleri gibi faktörler nedeniyle birçok bölge ve ülke elektrik talebini karşılamakta güçlük çekmektedir. Bu yakıtlara kolay ulaşılabilir, bol miktarda bulunur ve geleneksel enerji santralleri aracılığıyla elektriğe dönüştürülebilir (Kumar ve Majid, 2020).

Bunlara ek olarak, rneğin, Afrika'nın büyük bir kısmı elektriksiz durumda ve hızlı nüfus artışı ve işletmelerin artması karşısında mevcut enerji üretim kapasitesi enerji talebini karşılayamamaktadır. Bu durum, yüksek üretim ve işlem maliyetlerine yol açan önemli bir elektrik arzı ve güvenilirliği sıkıntısı ve enerji şirketlerinin rekabet gücü eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden enerji altyapısına yatırım yapılması, yeni, daha verimli ve temiz üretim kapasitesinin aynı zamanda kıtanın enerji üretim açığını da kapatması gerekmektedir (Zaghdoudi, 2024). Bu noktadan hareketle, finansal teknolojinin kullanılarak enerji erişiminin geliştirilmesi mümkündür. Araştırmacıların finansal teknolojinin enerji erişimindeki rolünü tespit etmek için açık bir ilgi görmemiştir. nceki çalışmalardan görüleceği üzere finansal teknolojilerin enerji erişimi üzerine etkisine yönelik çalışmaların, özellikle Afrika lkelerinde enerji erişimi üzerine yok denecek kadar az çalışmanın olduğu görülmektedir. Bu noktadan hareketle, özellikle Afrika lkelerinde finansal teknolojinin enerji erişiminde ne ölçüde rol oynadığını araştırmak önemlidir.

Sonuçlar, ekolojik sürdürülebilirliği sağlamak için yenilenebilir enerjiyi desteklemenin, mevcut evre vergisi sistemini birleştirmenin ve evre dostu teknolojilere önemli yatırımlar yapmanın gerekliliğine işaret etmektedir.

## KAYNAKLAR

Ahmad, M., Pata, U.K., Ahmad, Z., ve Zhao, Z. 2024. Fintech, natural resources management, green energy transition, and ecological footprint: Empirical insights from EU countries, Resources Policy 92 (2024) 104972

Bisaga I, Parikh P, Tomei J, To LS. Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals: a case study of off-grid solar energy in Rwanda. Energ Policy 2021;149:112028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.112028>.

- Bloomer, J. and Boateng, D. (2024). Prepaid into poverty? Exploring energy poverty and access to alternative electricity sources among urban poor households in Ghana, *Energy Research & Social Science* 112 (2024) 103510
- Brew-Hammond, A., 2010. Energy access in africa: challenges ahead. *Energy Policy* 38 (5), 2291–2301.
- Croutzet, A., Dabbous, A., 2021. Do Fintech trigger renewable energy use? Evidence from OECD countries. *Renew. Energy* 179, 1608–1617.
- Fan, M., Lu, Z., Zhou, Y., Wang, J. 2024. Threshold and spillovers effects of fintech on China's energy dependence on fossil fuel, *Resources Policy* 91 (2024) 104890.
- Fang, Y., Shao, Z. (2022). Whether green finance can effectively moderate the green technology innovation effect of heterogeneous environmental regulation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19 (6), 3646.
- Financial Stability Board, 2017. Describing the Landscape and a Framework for Analysis. Fraser Institute, 2021. Economic Freedom. Retrieved from. <https://www.fraserinstitute.org/economic-freedom/dataset>. (Accessed 10 July 2023).
- Li, X., An, L., Zhang, D., Lee, C-C., Yu, C-H, 2024. Energy access and female labor force participation in developing countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 199 (2024) 114468
- Li, Y., Liu, C.Y.N., Lao, U., Dang, J., 2024. Navigating the path to environmental sustainability: exploring the role of Fintech, natural resources and green energy in Belt and Road countries. *Resour. Pol.* 88, 104485 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104485>.
- Lin, H.-H., Hsu, C.-C., Wu, P.-H., Shen, C.-C., Chen, G.-H., 2024. Demystifying the interconnections among natural resources, Fintech, green technologies, and sustainable environment in E-7 nations. *Resour. Pol.* 90, 104698 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104698>.
- Lisha, L., Mousa, S., Arnone, G., Muda, I., Huerta-Soto, R., Shiming, Z., 2023. Natural resources, green innovation, Fintech, and sustainability: a fresh insight from BRICS. *Resour. Pol.* 80, 103119 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103119>.
- Luo, Z., Mahmood, N., Zhang, J. (2025). Articulating the role of green finance and natural resources in the environment: Aggregate and disaggregate analysis of natural resources, *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 23, 96–105.
- Magazzino, C., Toma, P., Fusco, G., Valente, D., Petrosillo, I., 2022. Renewable energy consumption, environmental degradation and economic growth: the greener the richer? *Ecol. Indic.* 139, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108912>.
- Nenavath, S., 2022. Impact of Fintech and green finance on environmental quality protection in India: by applying the semi-parametric difference-in-differences (SDID). *Renew. Energy* 193, 913–919.
- Taghizadeh-Hesary, F., Chang, Y., Yoshino, N., Morgan, P.J., 2021. Energy insecurity, renewable energy and economic growth. *Singapore Econ. Rev.* 66, 313–322. <https://doi.org/10.1142/S0217590821020021>.
- Tao, R., Su, C.-W., Naqvi, B., Rizvi, S.K.A., 2022. Can Fintech development pave the way for a transition towards low-carbon economy: a global perspective. *Technol. Forecast. Soc. Change* 174, 121278. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121278>.
- Teng, M., Shen, M., 2023. Fintech and energy efficiency: evidence from OECD countries. *Resour. Pol.* 82, 103550 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103550>.
- Uddin, M., Siddik, A.B., Yuhuan, Z., Naeem, M.A. 2024. Fintech and environmental efficiency: The dual role of foreign direct investment in G20 nations, *Journal of Environmental Management* 360, 121211
- Udeagha, M.C., Muchapondwa, E., 2023. Green finance, Fintech, and environmental sustainability: fresh policy insights from the BRICS nations. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 30 (6), 1–17. <https://doi.org/10.1080/13504509.2023.2183526>.
- United Nations, Sustainable Development Goals, SDG Indicators [Online]. Available: <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/?Text=&Goal=7&Target>, 2023.

- Xu, S., Zhang, Y., Chen, L., Leong, L.W., Muda, I., Ali, A., 2023. How Fintech and effective governance derive the greener energy transition: evidence from panel-corrected standard errors approach. *Energy Econ.* 125, 106881 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106881>.
- Yu, Z., Guo, X., 2023. Influencing factors of green energy transition: the role of economic policy uncertainty, technology innovation, and ecological governance in China. *Front. Environ. Sci.* 10, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1058967>.
- Zhang, Y., Zheng, K., Xia, F., Cheng, Z., 2024. Fintech, natural resource rents, renewable energy consumption and environmental quality: a perspective of green economic recovery from BRICS economies. *Resour. Pol.* 89, 104604 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104604>.
- Zhou, M.X., Li, X. (2022). Influence of green finance and renewable energy resources over the sustainable development goal of clean energy in China. *Resources Policy* 78, 102816
- Zhu, Y., Lin, Y., Tan, Y., Liu, B., Wang, H., 2024. The potential nexus between Fintech and energy consumption: a new perspective on natural resource consumption. *Resour. Pol.* 89, 104589 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104589>.

## PAZARLAMA SÖYLEMİYLE BİÇİMLENEN BULUT MUHASEBE BENİMSEMESİ

**Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN**

Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kars.

**ORCID NO:** 0000-0002-8210-799X

**Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK**

Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kars.

**ORCID NO:** 0000-0003-1458-840X

### ÖZET

Dijitalleşme süreci, muhasebe uygulamalarını yalnızca teknik altyapı açısından değil, aynı zamanda sunum, algı ve benimseme biçimleri bakımından da dönüştürmektedir. Bu dönüşümün önemli yansımalarından biri, muhasebe yazılımlarının bulut bilişim tabanlı hizmet modelleri çerçevesinde yeniden konumlandırılmasıdır. Bulut muhasebe çözümleri, işletmelere esneklik, maliyet avantajı ve erişilebilirlik gibi teknik faydalar sunmakla birlikte, bu çözümlerin benimsenme süreci büyük ölçüde pazarlama söylemi aracılığıyla şekillenmektedir. Bu çalışma, bulut muhasebe literatürünü pazarlama söylemi perspektifinden ele alarak, benimseme olgusunun hangi kavramsal ve tematik çerçeveler üzerinden inşa edildiğini incelemeyi amaçlamaktadır. Literatürde öne çıkan güvenlik, algılanan fayda, hizmet kalitesi, kullanım kolaylığı ve performans etkisi gibi unsurların, pazarlama söylemi içinde nasıl anlamlandırıldığı ve potansiyel kullanıcıların karar süreçlerini nasıl etkilediği analiz edilmektedir. Çalışma kapsamında, bulut muhasebenin yalnızca teknik bir yenilik olarak değil; değer önerileri, ikna edici anlatılar ve güven inşası üzerinden pazarlanan bir dijital hizmet olarak ele alındığı görülmektedir. Bulgular, pazarlama söyleminin, özellikle belirsizlik ve risk algısının yüksek olduğu dijital hizmetlerde, benimseme sürecinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda çalışma, bulut muhasebenin benimsenmesini teknoloji odaklı yaklaşımların ötesine taşıyarak, pazarlama temelli bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bulut Muhasebe, Pazarlama Söylemi, Benimseme, Dijital Hizmetler, Bulut Bilişim.

### CLOUD ACCOUNTING ADOPTION SHAPED BY MARKETING DISCOURSE ABSTRACT

Digital transformation has reshaped accounting practices not only in terms of technological infrastructure but also in how these practices are presented, perceived, and adopted by organizations. One of the most significant outcomes of this transformation is the repositioning of accounting software within cloud-based service models. While cloud accounting solutions offer technical benefits such as flexibility, cost efficiency, and accessibility, their adoption is largely influenced by marketing discourse rather than purely technical considerations. This

study examines the cloud accounting literature through the lens of marketing discourse, aiming to explore how adoption processes are conceptually constructed. Key factors frequently emphasized in the literature-such as security, perceived usefulness, service quality, ease of use, and performance implications-are analyzed in terms of how they are framed within marketing narratives and how these narratives influence user decision-making. The findings suggest that cloud accounting is increasingly positioned not merely as a technological innovation, but as a digital service whose value is communicated through persuasive marketing discourse and trust-building strategies. In environments characterized by uncertainty and perceived risk, marketing discourse plays a critical role in shaping user acceptance and adoption behavior. The study highlights that adoption decisions regarding cloud accounting solutions extend beyond objective technical features and are strongly associated with how benefits, risks, and value propositions are communicated. By emphasizing the role of marketing discourse, this research contributes to the literature by offering a perspective that integrates accounting, digital services, and marketing. Accordingly, cloud accounting adoption is discussed as a socially and discursively constructed process rather than a solely technology-driven outcome.

**Keywords:** Cloud Accounting, Marketing Discourse, Adoption, Digital Services, Cloud Computing.

## 1. GİRİŞ

Dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte işletmelerin bilgi üretme, kullanma ve yönetme biçimleri köklü bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşümün muhasebe alanındaki en belirgin yansımalarından biri, geleneksel muhasebe yazılımlarının yerini giderek artan biçimde bulut bilişim tabanlı muhasebe çözümlerine bırakmasıdır. Bulut muhasebe, muhasebe verilerinin internet tabanlı platformlar aracılığıyla depolanmasını, işlenmesini ve erişilmesini mümkün kılarak işletmelere zaman, maliyet ve mekân esnekliği sağlamaktadır. Ancak bu teknolojik avantajlara rağmen, bulut muhasebe çözümlerinin benimsenme düzeyi işletmeler arasında homojen bir yapı göstermemekte; karar süreçleri yalnızca teknik yeterlilikler üzerinden şekillenmemektedir.

Bulut muhasebenin benimsenmesi, teknolojik altyapı kadar algısal ve söylemsel unsurlarla da yakından ilişkilidir. Özellikle güvenlik, veri gizliliği, hizmet sürekliliği ve kontrol kaybı gibi konular, potansiyel kullanıcılar açısından belirsizlik ve risk algısını beraberinde getirmektedir. Bu noktada, bulut muhasebe çözümlerinin pazarlama söylemi aracılığıyla nasıl sunulduğu, hangi değer önerileriyle konumlandırıldığı ve kullanıcıların ikna edilme biçimleri önem kazanmaktadır. Pazarlama söylemi, bulut muhasebenin teknik özelliklerini anlamlandıran,

faidalarını öne çıkararak ve riskleri yeniden çerçeveleyen bir araç olarak benimseme sürecinde belirleyici bir rol üstlenmektedir. Günümüzde bulut muhasebe çözümleri yalnızca bir yazılım ürünü olarak değil, “hizmet olarak muhasebe” anlayışı çerçevesinde pazarlanan dijital hizmetler olarak sunulmaktadır. Bu hizmetleşme süreci, muhasebe alanını pazarlama disiplininin kavramsal araçlarıyla daha görünür biçimde ilişkilendirmektedir. Değer önerisi, kullanıcı deneyimi, algılanan fayda, güven inşası ve marka vaadi gibi pazarlama temelli kavramlar, bulut muhasebe çözümlerinin benimsenmesini açıklamada giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Dolayısıyla benimseme olgusu, yalnızca rasyonel ve teknik bir karar süreci değil; aynı zamanda söylemsel olarak inşa edilen bir ikna süreci olarak değerlendirilebilir.

Literatürde bulut muhasebeye yönelik çalışmaların önemli bir kısmı, benimsemeyi teknoloji kabul modelleri, örgütsel faktörler ve çevresel baskılar çerçevesinde ele almaktadır. Ancak bu çalışmaların büyük bölümü, pazarlama söyleminin benimseme sürecindeki rolünü ikincil düzeyde değerlendirmekte ya da dolaylı biçimde ele almaktadır. Oysa dijital hizmetlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, teknolojik çözümlerin kullanıcılar tarafından nasıl “anlatıldığı”, “vaat edildiği” ve “anlamlandırıldığı” benimseme kararlarında kritik bir unsur haline gelmiştir. Bu bağlamda bulut muhasebe, teknik bir yenilik olmanın ötesinde, pazarlama söylemiyle şekillenen bir değer anlatısı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışma, bulut muhasebe literatürünü pazarlama söylemi perspektifinden ele alarak, benimseme sürecinin hangi kavramsal ve tematik çerçeveler üzerinden biçimlendiğini incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, bulut muhasebenin benimsenmesini teknoloji merkezli açıklamaların ötesine taşıyarak, pazarlama söyleminin ikna edici ve yapılandırıcı rolüne odaklanmaktadır. Bu yönüyle araştırma, muhasebe, bulut bilişim ve pazarlama disiplinleri arasında bütüncül bir değerlendirme sunmayı hedeflemektedir.

## 2. LİTERATÜR ÇERÇEVESİ

### 2.1. Bulut Muhasebenin Kavramsal Çerçevesi ve Dönüşen Muhasebe Pratiği

Bulut bilişim teknolojilerinin gelişimi, muhasebe bilgi sistemlerini yalnızca teknik altyapı açısından değil, aynı zamanda örgütsel işleyiş, karar alma süreçleri ve değer üretme biçimleri açısından da dönüştürmüştür. Bulut muhasebe, muhasebe yazılımlarının internet tabanlı platformlar aracılığıyla hizmet olarak sunulmasıyla, geleneksel lisanslı yazılım anlayışından ayrılmakta ve muhasebeyi sürekli erişilebilir bir dijital hizmete dönüştürmektedir (Dimitriu & Matei, 2015). Bu dönüşüm, muhasebe fonksiyonunun zaman ve mekân bağımlılığını azaltırken, veri paylaşımı, entegrasyon ve gerçek zamanlı raporlama gibi unsurları ön plana çıkarmaktadır.

Literatürde bulut muhasebe, çoğunlukla operasyonel verimlilik, maliyet avantajı ve ölçeklenebilirlik gibi rasyonel faydalar üzerinden ele alınmaktadır (Sibuea vd., 2021; Nguyen vd., 2025). Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından bulut muhasebe, sınırlı teknik kaynaklara rağmen gelişmiş muhasebe altyapısına erişim imkânı sunması nedeniyle stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir (Septiawan vd., 2025). Ancak bu avantajlara rağmen, bulut muhasebenin benimsenme oranlarının sektörler ve ülkeler arasında farklılık göstermesi, benimseme kararlarının yalnızca teknik rasyonaliteyle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır.

## **2.2. Bulut Muhasebe Benimsemesi: Teknoloji Merkezli Yaklaşımlar ve Sınırları**

Bulut muhasebe benimsemesini açıklamaya yönelik çalışmaların önemli bir bölümü, Teknoloji Kabul Modeli (TAM), Teknoloji-Örgüt-Çevre (TOE) çerçevesi ve Yeniliğin Yayılımı Kuramı (DOI) gibi teknoloji odaklı teorik yaklaşımlara dayanmaktadır (Musyaffi vd., 2024; Kavalieraki-Foka vd., 2025). Bu çerçevede algılanan fayda, algılanan kullanım kolaylığı, güvenlik, üst yönetim desteği ve örgütsel hazırlık gibi değişkenler benimsemenin temel belirleyicileri olarak tanımlanmaktadır.

Ancak son dönem literatür, bu modellerin benimseme olgusunu büyük ölçüde bireysel algılar ve örgütsel faktörler düzeyinde ele aldığını; söylemsel, kültürel ve pazarlama temelli unsurları yeterince açıklayamadığını göstermektedir (Ma vd., 2021). Özellikle dijital hizmetlerin soyut doğası, kullanıcıların teknik özellikleri doğrudan deneyimlemeden karar vermesine neden olmakta ve bu durum algı, anlatı ve güven inşasını merkezi bir konuma taşımaktadır. Bu bağlamda benimseme, salt bir teknoloji seçimi değil; anlamlandırma ve ikna süreçlerinin bir çıktısı olarak değerlendirilebilir.

## **2.3. Dijital Hizmet Olarak Bulut Muhasebe ve Güven İnşası**

Bulut muhasebenin “hizmet olarak yazılım” (SaaS) modeliyle sunulması, muhasebeyi somut bir ürün olmaktan çıkararak soyut bir hizmet deneyimine dönüştürmektedir. Hizmet pazarlaması literatürü, soyutluk, ayrılmazlık ve heterojenlik gibi özelliklerin kullanıcı algısını belirgin biçimde etkilediğini vurgulamaktadır. Bu çerçevede güven, dijital hizmetlerin benimsenmesinde temel bir ön koşul hâline gelmektedir (Swadia, 2024).

Bulut muhasebe bağlamında güven, yalnızca teknik güvenlik önlemleriyle değil; bu önlemlerin kullanıcıya nasıl anlatıldığıyla da ilişkilidir. Veri güvenliği, gizlilik ve yasal uyum gibi risk unsurları, pazarlama söylemi aracılığıyla yeniden çerçevelenmekte ve yönetilmektedir (Nguyen vd., 2025). Dolayısıyla pazarlama söylemi, belirsizliği azaltan ve teknolojik karmaşıklığı sadeleştiren bir aracı mekanizma işlevi görmektedir.

## 2.4. Pazarlama Söylemi ve Teknoloji Benimsemesinin Söylemsel İnşası

Pazarlama literatürü, teknoloji benimsemesini yalnızca işlevsel faydalar üzerinden değil, anlatılar, vaatler ve değer önerileri üzerinden ele almaktadır. Özellikle dijital teknolojilerde pazarlama söylemi, teknolojinin ne olduğu kadar “ne anlama geldiğini” de inşa etmektedir (Plangger vd., 2022). Bu söylemler; yenilikçilik, rekabet avantajı, kontrol, esneklik ve geleceğe uyum gibi temalar etrafında şekillenmektedir.

Bulut muhasebe özelinde pazarlama söylemi, teknolojik bir çözümü stratejik bir iş ortağı olarak konumlandırmakta; muhasebeyi yalnızca kayıt tutma fonksiyonundan çıkararak karar destek ve değer üretim aracı hâline getirmektedir. Bu bağlamda benimseme süreci, pazarlama söylemiyle biçimlenen algıların ve anlamların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Athaide vd., 2024). Literatürde bulut muhasebe üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu benimsemeyi teknik ve örgütsel faktörler üzerinden açıklarken, pazarlama söyleminin yapılandırıcı rolünü doğrudan ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu durum, bulut muhasebenin benimsenmesini söylemsel bir çerçevede ele alan araştırmalara duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

## 3. YÖNTEM

Bu çalışmada pazarlama söylemi, doğrudan bir söylem analizi yöntemiyle değil; literatürde tekrar eden kavramlar, tematik yoğunlaşmalar ve kavramsal çerçeveler üzerinden dolaylı olarak ele alınmaktadır. Bu doğrultuda bibliyometrik analiz, bulut muhasebe literatüründe pazarlama söyleminin hangi temalar aracılığıyla kurulduğunu ve benimseme olgusunun nasıl anlamlandırıldığını ortaya koyan bir araç olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla çalışma, söylemin içeriğini çözümlenmekten ziyade, söylemin literatürdeki görünürlüğünü ve yapılandırıcı rolünü incelemeyi amaçlamaktadır.

Bu çerçevede çalışma, bulut muhasebe alanındaki akademik literatürün yapısını, gelişim eğilimlerini ve kavramsal odaklarını ortaya koymak amacıyla bibliyometrik analiz yöntemine dayalı olarak tasarlanmıştır. Bibliyometrik analiz, belirli bir araştırma alanındaki bilimsel üretimin nicel özelliklerini inceleyerek alanın entelektüel yapısını, tematik yoğunlaşmalarını ve araştırma eğilimlerini ortaya koymada yaygın biçimde kullanılan bir yöntemdir (Zupic & Čater, 2015; Donthu vd., 2021). Özellikle hızla gelişen ve disiplinlerarası nitelik taşıyan alanlarda bibliyometrik analiz, literatürün bütüncül biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

### 3.1. Veri Kaynağı ve Arama Kapsamı

Araştırmanın veri kaynağını Web of Science (WoS) veri tabanında indekslenen akademik yayınlar oluşturmaktadır. WoS'un tercih edilmesinin temel nedeni, yüksek akademik standartlara sahip dergileri kapsamaması ve bibliyometrik analiz çalışmalarında yaygın olarak

kullanılmasıdır (Aria & Cuccurullo, 2017). Literatür taraması, “cloud accounting” anahtar kelimesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamına makaleler, konferans bildirileri ve kitap bölümleri dâhil edilmiş; editoryal yazılar, özetler ve hakem sürecinden geçmemiş çalışmalar kapsam dışında bırakılmıştır. Zaman aralığı olarak 2012-2026 yılları seçilmiştir. Bu tercih, bulut muhasebenin literatürde kavramsal olarak görünür hâle gelmeye başladığı dönemden günümüze kadar olan gelişim sürecinin izlenmesini mümkün kılmaktadır (Dimitriu & Matei, 2015). Uygulanan tarama ve eleme kriterleri sonucunda toplam 29 yayın, araştırmanın örneklemini oluşturmuştur.

### 3.2. Bibliyometrik Analiz Süreci

Bibliyometrik analiz üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, yayınların yıllara göre dağılımı, yayın türleri, WoS kategorileri, ülkeler, kurumlar ve yazarlar açısından betimleyici analizleri yapılmıştır. Bu aşama, bulut muhasebe literatürünün zaman içerisindeki gelişimini ve hangi disiplinler etrafında yoğunlaştığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Literatürün ağırlıklı olarak işletme, ekonomi ve yönetim alanlarında konumlandığı görülmüştür. İkinci aşamada, yayınlarda yer alan anahtar kelimeler ve kavramlar analiz edilerek tematik yoğunlaşmalar belirlenmiştir. Bu kapsamda özellikle benimseme (adoption), belirleyiciler (determinants), hizmetler (services), güvenlik, performans ve KOBİ’ler (SMEs) gibi kavramların literatürde merkezi bir konuma sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, bulut muhasebe çalışmalarının büyük ölçüde teknoloji benimseme literatürüyle örtüşüğünü ve sıklıkla Teknoloji Kabul Modeli (TAM) ve benzeri çerçevelerle ilişkilendirildiğini göstermektedir (Davis, 1989; Musyaffi vd., 2024).

### 3.3. Bibliyometrik Bulguların Literatürle Bağdaştırılması

Çalışmanın temel amacı, bibliyometrik analiz yoluyla elde edilen bulguları mevcut literatürle bağdaştırarak yorumlamaktır. Bu doğrultuda, literatürde tekrar eden temalar; teknoloji benimseme, dijital hizmetler ve pazarlama söylemi bağlamında değerlendirilmiştir. Özellikle güvenlik, algılanan fayda, kullanım kolaylığı ve maliyet avantajı gibi kavramların, yalnızca teknik değişkenler olarak değil; pazarlama söylemi aracılığıyla yapılandırılan değer önerileri olarak ele alındığı görülmektedir (Gefen vd., 2003; Plangger vd., 2022). Bu bağlamda bibliyometrik analiz, bulut muhasebe literatürünün nicel dağılımlarını ortaya koymakla kalmamış; aynı zamanda benimseme olgusunun pazarlama söylemiyle nasıl ilişkilendirilebileceğine dair kavramsal bir zemin sunmuştur. Bulgular, bulut muhasebenin literatürde giderek artan biçimde “hizmet olarak muhasebe” anlayışıyla ele alındığını ve bu

hizmetin pazarlama söylemi yoluyla ikna, güven inşası ve algı yönetimi süreçleri içinde konumlandırıldığını göstermektedir (Lusch & Vargo, 2006; Kotler vd., 2017).

### 3.4. Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu çalışma, yalnızca WoS veri tabanında indekslenen ve İngilizce yayımlanan çalışmalarla sınırlıdır. Bu durum, farklı veri tabanlarında yer alan veya yerel dillerde yayımlanan çalışmaların kapsam dışında kalmasına neden olmuştur. Ayrıca bibliyometrik analiz, literatürdeki eğilimleri ve yapısal özellikleri ortaya koymakla birlikte, doğrudan saha verisi sunmamaktadır. Bununla birlikte, kullanılan veri seti ve analiz yaklaşımı, bulut muhasebe literatürünün genel görünümünü ve pazarlama söylemiyle ilişkisini ortaya koymak açısından yeterli bir temsil gücüne sahiptir.

## 4. BULGULAR

Yapılan analizler sonucunda ulaşılan bulguların genel görünümü, aşağıda yer alan tablolar aracılığıyla değerlendirilmektedir.

**Tablo 1.** Belge İçin Arama Çerçevesi

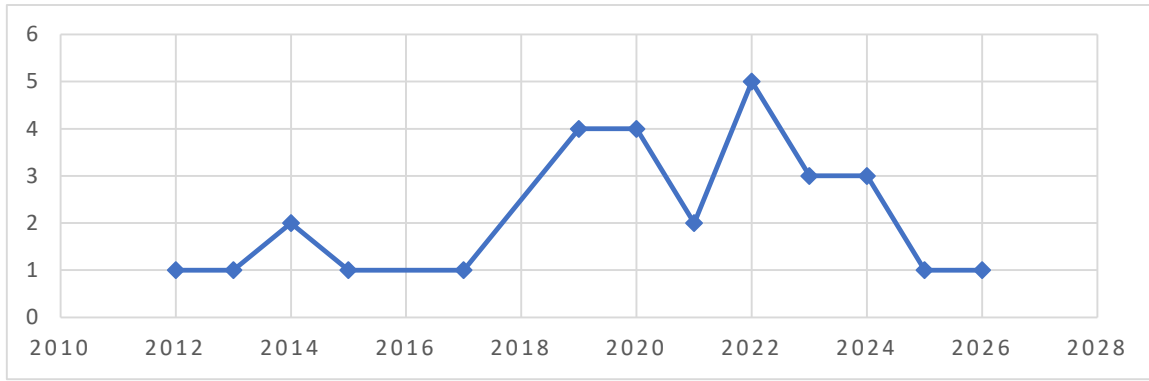
Parametreler	Seçim
Seçim yaklaşımı	Bibliyometrik analiz
Kullanılan veritabanı	WoS (Web of Science)
Analiz için kullanılan araçlar	R
Arama sorgusu	Bulut Muhasebe
Belgenin niteliği	Makale/Bildiri/Kitap Bölümü
Zaman aralığı	2012-2026
Dil	İngilizce
Analiz için toplam belge sayısı	29
Yayın aşaması	Son

Veriler analiz edilirken belge arama noktasındaki genel çerçeve Tablo 1’de gösterilmektedir.

**Tablo 2.** Belge Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

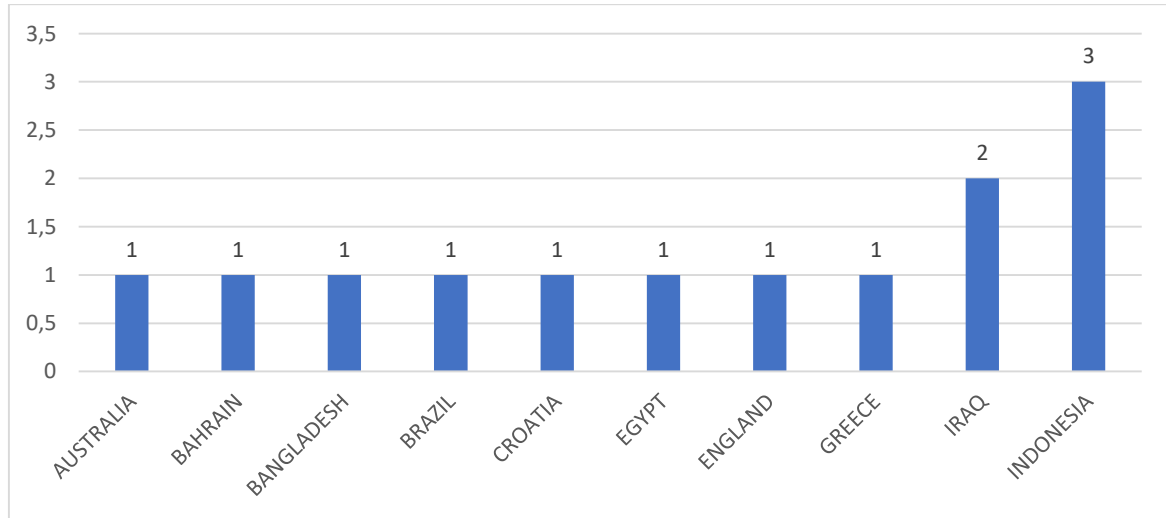
Ölçütler	Rakamsal Değer
<b>Belge Türleri</b>	
Makale	19
Bildiri	6
Kitap Bölümü	4
<b>WoS Kategorileri</b>	
İşletme-Finans	14
Ekonomi	8
Yönetim	4
Sosyal Bilimler Disiplinlerarası	3
<b>WoS Endeksi</b>	
Gelişen Kaynaklar Atıf İndeksi (ESCI)	17
Sosyal Bilimler Atıf İndeksi (SSCI)	6
Konferans Bildirileri Atıf Dizini-Sosyal Bilimler ve Beşeri Bilimler (CPCI-SSH)	4
Konferans Bildirileri Atıf Dizini – Bilim (CPCI-S)	2
<b>Toplam</b>	29

Tablo 2 incelendiğinde toplam 29 yayının büyük bölümünün 19 adet ile makalelerden oluştuğu, bildirilerin 6 ve kitap bölümlerinin 4 adet ile daha sınırlı kaldığı görülmektedir. WoS kategorileri açısından yayınların ağırlıklı olarak İşletme-Finans (14) alanında yoğunlaştığı, bunu Ekonomi (8) ve Yönetim (4) alanlarının takip ettiği; Sosyal Bilimler Disiplinlerarası kategorisinin ise 3 yayın ile daha düşük temsil edildiği anlaşılmaktadır. WoS indeks dağılımında ise yayınların büyük kısmının ESCI (17) kapsamında yer aldığı, SSCI (6) , CPCI-SSH (4) ve CPCI-S (2) indekslerinin daha sınırlı paya sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak bulgular, yayınların işletme-finans eksenli ve ağırlıklı olarak ESCI kapsamındaki dergilerde yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.



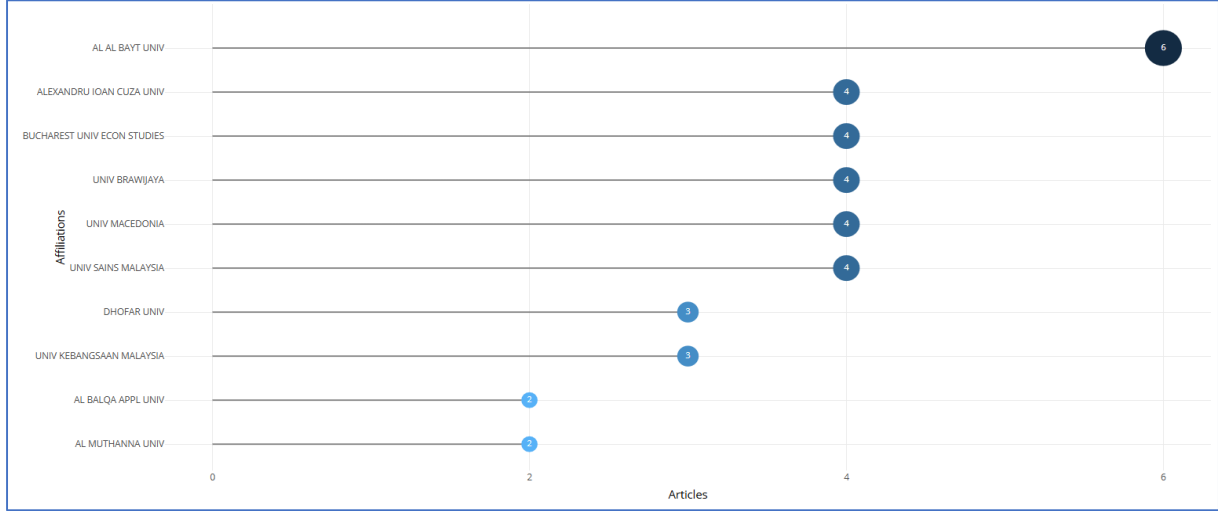
Şekil 1. Yıllara Göre Yayın Grafiği

Şekil 1 incelendiğinde yayın sayılarının 2012–2017 döneminde düşük ve yatay bir seyir izlediği, 2019 sonrası ise belirgin bir artış eğilimine girdiği görülmektedir. Özellikle 2020 ve 2022 yıllarında artış dikkat çekmekte, 2022 yılında en yüksek seviyeye (5 yayın) ulaşıldığı anlaşılmaktadır. 2023–2024 döneminde görece yüksek bir üretim devam ederken, 2025 yılında düşüş yaşanmış ve 2026 yılında hala yayın sayısı yıl sonuna doğru değişebilir. Genel olarak grafik, son yıllarda yoğunlaşan ancak dalgalı bir yayının performansına işaret etmektedir.



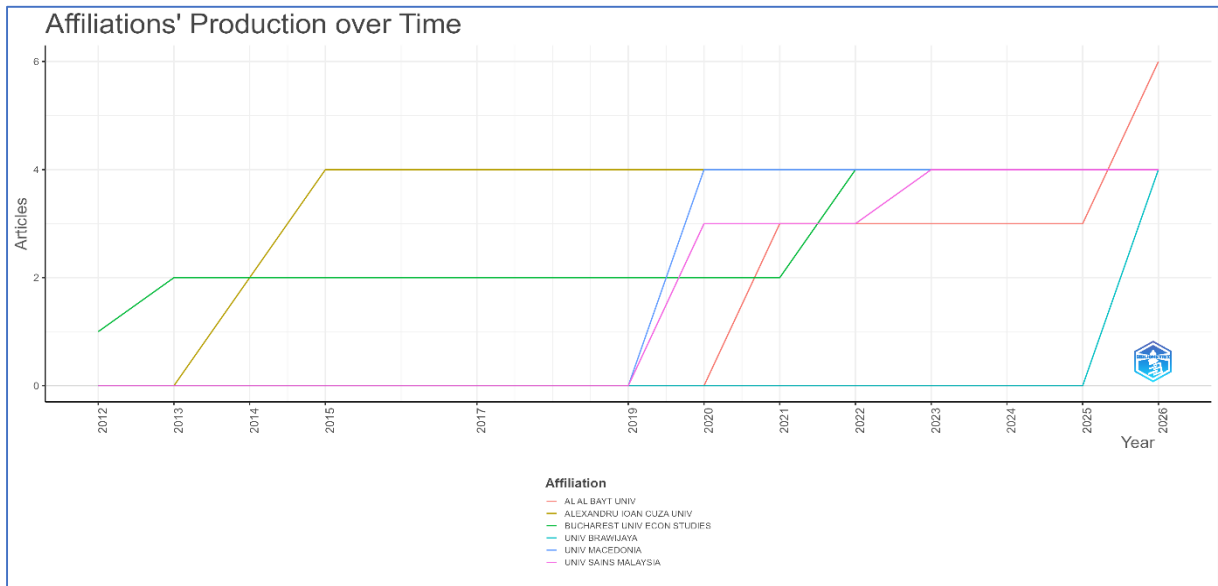
Şekil 2. Ükelere Göre Makale Sayıları (İlk 10 Ülke)

Şekil 2 incelendiğinde ülkeler arasında makale sayılarının genel olarak düşük ve birbirine yakın düzeyde olduğu görülmektedir. Endonezya 3 yayın ile ilk sırada yer alırken, Irak 2 yayınlı onu takip etmektedir. Avustralya, Bahreyn, Bangladeş, Brezilya, Hırvatistan, Mısır, İngiltere ve Yunanistan ise birer yayın ile temsil edilmektedir. Bu dağılım, ilgili ülkelerde akademik üretimin sınırlı ancak dengeli bir şekilde dağıldığını göstermektedir.



Şekil 3. En İlgili Bağlantılı Kuruluşlar ( İlk 10 Kuruluş)

Şekil 3 incelendiğinde en ilgili bağlantılı kuruluşlar arasında Al al-Bayt Univ'in 6 yayını ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Alexandria Univ, Bucharest Univ Econ Studies, Univ Braşov, Univ Macedonia ve Univ Sains Malaysia 4'er yayını ile onu takip ederken; Dhofar Univ ve Univ Kebangsaan Malaysia 3'er yayınıla orta düzeyde katkı sağlamaktadır. Al Balqa Appl Univ ve Al Muthanna Univ ise 2'şer yayını ile listede yer almaktadır. Genel olarak dağılım, yayını üretiminin belirli üniversitelerde yoğunlaştığını ancak katkının birkaç kurum arasında görece dengeli biçimde paylaşıldığını göstermektedir.



Şekil 4. En İlgili Bağlantılı Kuruluşların Zaman İçerisindeki Makale Üretimi ( İlk 6 Kuruluş)

Şekil 4 incelendiğinde ilk altı kuruluşun makale üretimlerinin özellikle 2020 sonrasında belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Bazı kurumların (örneğin Bucharest Univ Econ Studies ve Univ Macedonia) üretimi 2015 sonrası istikrarlı bir seviyede devam ederken, Al al-Bayt Univ ve Alexandria Univ gibi kurumlarda artışın daha geç dönemde gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Univ Sains Malaysia ise son yıllarda üretim ivmesi kazanmıştır. Genel olarak grafik, kurumların yayın performansının son dönemde yoğunlaştığını ve özellikle 2021–2026 aralığında artan bir akademik üretim eğilimi sergilendiğini göstermektedir.

**Tablo 3.** En İlgili Yazarlar

Author	Publication Count	Numerical Value
1	DIMITRIU O	2
2	IONESCU B	2
3	IONESCU I	2
4	MATEI M	2
5	TUDORAN L	2
6	ABDULMUHSIN AA	1
7	ABU ORABI MM	1
8	ADIB N	1
9	ADRIANA NEVES AN	1
10	BIBOW J	2

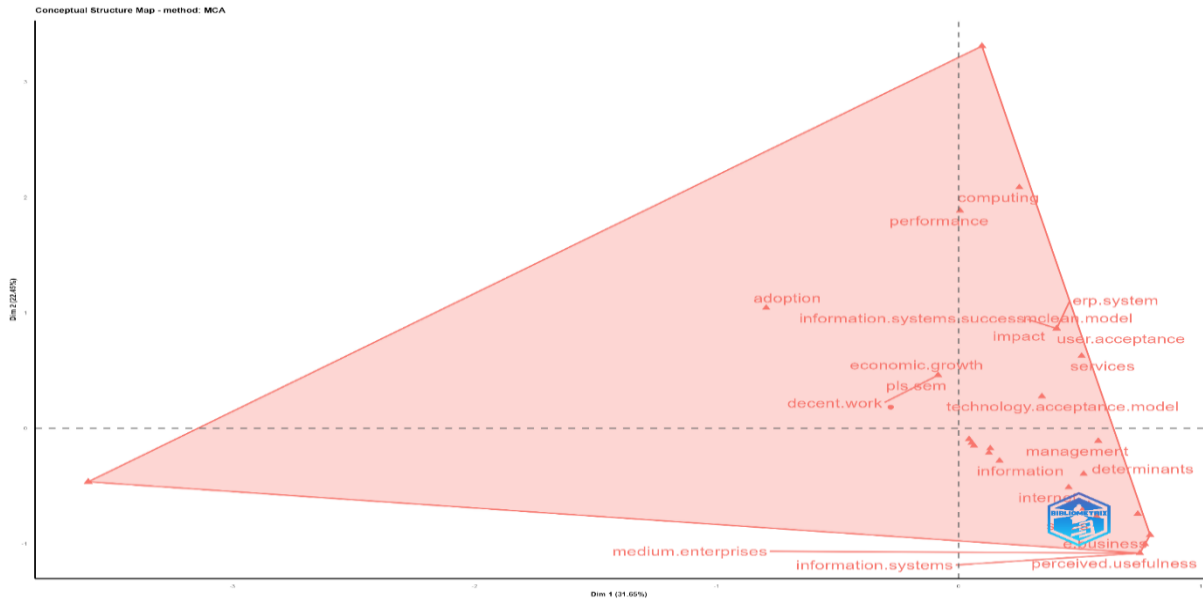
Tablo 3 incelendiğinde en ilgili yazarlar arasında yayın sayılarının görece sınırlı ve birbirine yakın düzeyde dağıldığı görülmektedir. DIMITRIU O, IONESCU B, IONESCU I, MATEI M, TUDORAN L ve BIBOW J ikişer yayın ile öne çıkarken; ABDULMUHSIN AA, ABU ORABI MM, ADIB N ve ADRIANA NEVES AN birer yayın ile listeye katkı sağlamaktadır. Bu dağılım, alanda belirgin biçimde baskın bir yazarın bulunmadığını, yayın üretiminin daha çok küçük ve dengeli katkılar sunan araştırmacılar arasında paylaşıldığını göstermektedir.



**Şekil 5.** En Sık Kullanılan Kelimeler

Şekil 5’te yer alan kelime bulutu incelendiğinde “computing adoption”, “determinants”, “adoption” ve “services” kavramlarının literatürde en baskın temalar olduğu görülmektedir.

Bunun yanında “SMEs”, “technology acceptance model”, “performance”, “management”, “innovation” ve “internet” gibi kavramların da öne çıktığı dikkat çekmektedir. Ayrıca “perceived usefulness”, “information systems”, “e-commerce”, “cybersecurity” ve “facebook” gibi daha spesifik başlıklar, çalışmaların hem teknoloji benimseme modelleri hem de dijital hizmetler bağlamında çeşitlendiğini göstermektedir. Genel olarak dağılım, literatürün bilgi teknolojilerinin benimsenme süreçleri, bu süreci etkileyen belirleyiciler ve işletmeler üzerindeki performans etkileri etrafında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Bu kavramsal yoğunluk, bulut muhasebenin literatürde yalnızca teknik bir çözüm olarak değil; pazarlama söylemi aracılığıyla değer, fayda ve ikna unsurları üzerinden konumlandırılan bir dijital hizmet olarak ele alındığını göstermektedir.



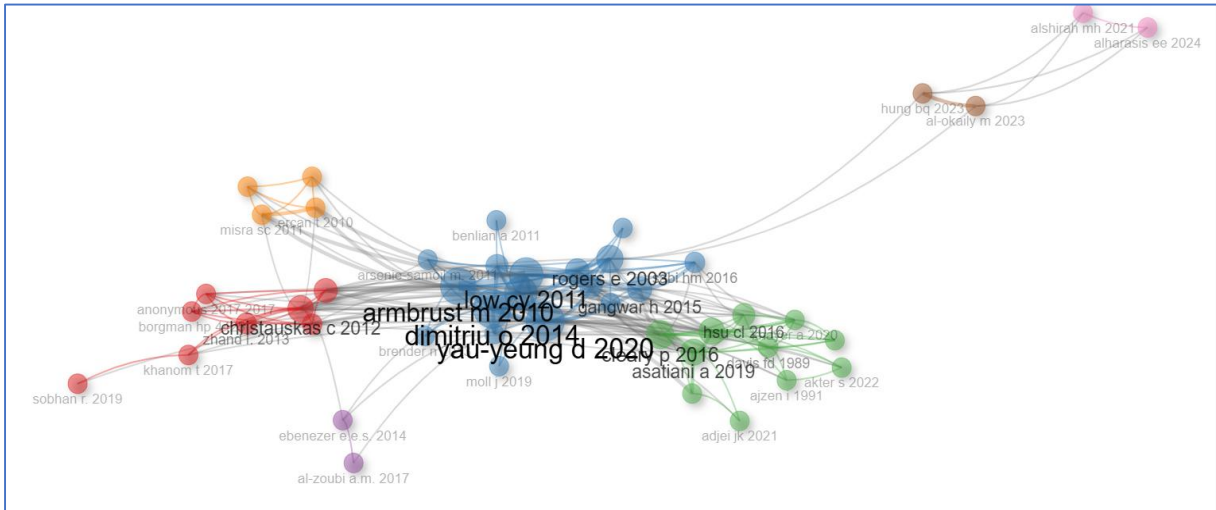
Şekil 6. Faktöryel Analiz Haritası

Şekil 6’daki faktöryel analiz (MCA) haritası incelendiğinde kavramların büyük ölçüde sağ ekseninde yoğunlaştığı ve özellikle “determinants”, “services”, “user acceptance”, “impact” ve “acceptance model” gibi ifadelerin birbirine yakın konumlanarak ortak bir tematik yapı oluşturduğu görülmektedir. “Computing” ve “performance” kavramları üst bölgede yer alarak daha farklı bir boyutu temsil ederken, “information systems” ve “perceived usefulness” gibi kavramlar alt ekseninde konumlanarak ayrı bir alt boyut göstermektedir. Genel olarak harita, literatürde teknoloji benimseme, bilgi sistemleri ve kabul modelleri ekseninde kümelenen çok boyutlu ancak birbirine bağlı bir kavramsal yapı bulunduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 7. Birlikte Oluşma Ağı

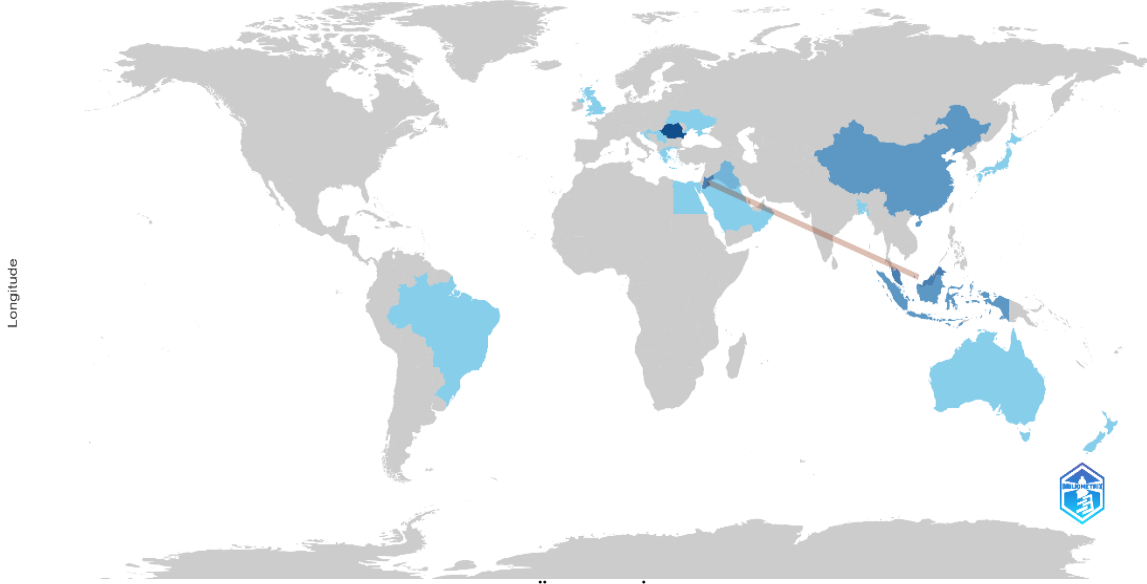
Şekil 7’deki birlikte oluşma ağı incelendiğinde “determinants” kavramının ağın merkezinde yer aldığı ve “computing adoption” ile “services” kavramlarıyla güçlü bağlantılar kurduğu görülmektedir. Özellikle “SMEs”, “empirical analysis” ve “technology adoption” gibi alt başlıkların bu merkez temalar etrafında kümelendiği dikkat çekmektedir. “Adoption”, “performance” ve “computing” kavramlarının ise daha küçük fakat ilişkili bir alt küme oluşturduğu anlaşılmaktadır. Genel olarak ağ, literatürün bilgi teknolojileri ve hizmet sektöründe benimseme süreçlerinin belirleyicileri üzerine yoğunlaştığını ve ampirik analiz temelli çalışmaların öne çıktığını göstermektedir.



Şekil 8. Yazarların Ortak Atıf Ağı

Şekil 8’de yer alan yazarların ortak atıf ağı incelendiğinde literatürün belirli çekirdek çalışmalar etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Armbrust (2010), Dimitriu (2014) ve yau (2020) gibi çalışmalar ağın merkezinde yer almakta ve diğer birçok araştırma ile güçlü bağlantılar kurmaktadır. Bunun yanında farklı renklerle gösterilen kümeler, literatürde tematik veya metodolojik alt grupların oluştuğunu göstermekte; bazı yazarların ise daha çevresel

konumda kalarak sınırlı sayıda bağlantıya sahip olduğu dikkat çekmektedir. Genel olarak ağ yapısı, alanın belirli öncü çalışmalar etrafında geliştiğini ve bu çalışmaların sonraki araştırmalar için temel referans noktası oluşturduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 9. Ülkelerin İşbirliği Ağı

Şekil 9'daki ülke işbirliği haritası incelendiğinde işbirliği ağının ağırlıklı olarak Asya, Orta Doğu ve Avrupa ekseninde yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle Çin, Türkiye ve çevre ülkeler arasında belirgin bağlantılar dikkat çekerken; Avustralya ve Brezilya gibi ülkelerin de ağı dahil olduğu ancak daha sınırlı etkileşim düzeyine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Kuzey Amerika ve Afrika'nın büyük bölümünde ise işbirliği yoğunluğunun düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak harita, bölgesel işbirliklerinin ön planda olduğu ve küresel ölçekte daha seçici bağlantıların kurulduğu bir ağ yapısına işaret etmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, bulut muhasebeyi yalnızca “teknik bir yenilik” olarak değil; dijital hizmet ekonomisinde pazarlama söylemiyle anlam kazanan bir değer önerisi ve ikna pratiği olarak ele alarak literatüre iki yönlü bir katkı sunmaktadır. Bibliyometrik haritalama yaklaşımı, alanın yapısal görünümünü sistematik, şeffaf ve tekrarlanabilir biçimde değerlendirmeye olanak tanıdığı için bu tür disiplinlerarası alanlarda güçlü bir yöntemsel zemin sağlar (Župič & Čater, 2015; Donthu vd., 2021). Bibliometrix gibi araçların sunduğu bütünleşik iş akışı da (veri dönüştürme-analiz-haritalama) yöntemsel şeffaflığı destekler (Aria & Cuccurullo, 2017).

Bulgular, literatürde “benimseme (adoption)”, “belirleyiciler (determinants)” ve “hizmetler (services)” temalarının merkezî konumda olduğunu göstermektedir. Bu kavramsal yoğunluk, bulut muhasebenin teknik bir çözüm olmanın ötesinde “benimsetilmesi gereken” bir dijital

hizmet olarak ele alındığını düşündürmektedir. Bu görünüm, teknoloji kabul yazınında benimseme davranışını açıklamada kullanılan çerçevelerle de uyumludur (Davis, 1989).

Kelime bulutu bulgularında “algılanan fayda (perceived usefulness)”, “kullanım kolaylığı”, “hizmet kalitesi”, “e-ticaret” ve “siber güvenlik” gibi kavramların öne çıkması; benimseme kararının yalnızca fonksiyonel fayda hesabıyla değil, risk ve belirsizliğin yönetimiyle de ilişkili olduğunu göstermektedir. Nitekim çevrimiçi bağlamlarda güvenin, teknoloji kabul değişkenleriyle birlikte davranış niyetini anlamlı biçimde açıkladığı vurgulanmaktadır (Gefen vd., 2003). Bu bağlamda pazarlama söylemi, bulut muhasebenin faydalarını “değer önerisine” dönüştürürken; güvenlik ve risk başlıklarını da belirsizliği azaltan ikna stratejileri üzerinden yeniden çerçevelemektedir (Plangger vd., 2022).

Çalışmanın literatürle bağdaştırma gücü, bulut tabanlı muhasebenin yalnızca yazılım tercihi değil, muhasebe mesleğinin değer üretim biçimini etkileyen bir dönüşüm dinamiği olabileceğine işaret eden bulgularla pekişmektedir. Örneğin küçük ve orta ölçekli muhasebe uygulamalarında bulut tabanlı müşteri muhasebesinin benimsenmesini inceleyen çalışmalar, benimseme kararlarında algılanan faydalar, örgütsel hazırlık ve çevresel baskıların etkili olabildiğini; benimseme sonrasında ise danışmanlık hizmetlerinin değerinin artabildiğini göstermektedir (Ma vd., 2021). Bu sonuç, bulut muhasebenin “kayıt tutma” işlevinden “danışmanlık ve karar desteği” yönüne doğru konumlandırılmasının, pazarlama söylemi açısından neden ikna edici bir çerçeve sunduğunu da açıklamaktadır (Plangger vd., 2022).

Bu çalışmanın temel yorumu şudur: Bulut muhasebe benimsemesi, teknik uygunluk kadar “değerin nasıl anlatıldığı” ve “riskin nasıl yönetildiği” üzerinden ilerleyen bir ikna ekonomisi içinde şekillenmektedir. Hizmet-dominant mantıkta işletmeler “değeri sunmaz”, değer önerir; değer kullanımda ortaya çıkar ve kullanıcı ile birlikte üretilir (Vargo & Lusch, 2004). Bulut muhasebe çözümlerinin pazarlanma biçimi de bu gerilimin üzerinde durur: sağlayıcı gelecekteki “değer-kullanım”ı vaat eder, kullanıcı ise belirsizlik nedeniyle güven arar; bu nedenle güvenlik, kolaylık ve performans söylemleri benimseme kararında kritik rol oynar (Gefen vd., 2003; Davis, 1989).

Çalışmanın ortaya koyduğu bulgular ve literatürle yapılan bağdaştırma doğrultusunda, hem akademik çalışmalar hem de uygulayıcılar açısından yol gösterici nitelikte görülen öneriler aşağıda sunulmaktadır.

- *Araştırmacılar İçin:* Bu çalışmada bibliyometrik haritalama yoluyla ortaya konulan tematik kümeler, ilerleyen araştırmalarda metin temelli yöntemlerle (örneğin sistematik içerik analizi veya eleştirel söylem analizi) derinleştirilebilir. Böylece bulut

muhasebenin benimsenmesine ilişkin kavramların yalnızca hangi sıklıkta tekrarlandığı değil, aynı zamanda hangi anlatı ve ikna stratejileri üzerinden inşa edildiği daha ayrıntılı biçimde çözümlenebilir. Ayrıca farklı veri tabanlarının (örneğin Scopus veya Dimensions) analize dâhil edilmesi, literatürün kapsamını genişleterek karşılaştırmalı ve daha bütüncül sonuçlar üretilmesine olanak sağlayacaktır (Župič & Čater, 2015; Donthu vd., 2021).

- *Bulut Muhasebe Sağlayıcıları ve Pazarlamacılar İçin:* Bulgular, bulut muhasebenin benimsenme sürecinde değer önerilerinin merkezi bir rol oynadığını göstermektedir. Bu bağlamda pazarlama söylemi, soyut vaatlere dayalı bir iletişim yerine; ölçülebilir faydaları, kullanım senaryolarını ve somut performans kazanımlarını görünür kılan bir yapı üzerine kurulmalıdır. Bununla birlikte güven inşası, yalnızca teknik güvenlik önlemleriyle sınırlı bir unsur olarak ele alınmamalı; bu önlemlerin şeffaf, anlaşılır ve kullanıcı deneyimiyle uyumlu biçimde iletişime taşındığı bütüncül bir pazarlama yaklaşımı benimsenmelidir (Gefen vd., 2003; Plangger vd., 2022).
- *KOBİ'ler ve Muhasebe Uygulamaları İçin:* Bulut muhasebenin benimsenmesi, bir yazılım satın alma kararından ziyade örgütsel düzeyde bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle benimseme süreci; iş süreçlerinin yeniden tasarlanması, dijital yetkinliklerin geliştirilmesi ve veri yönetişimine ilişkin hazırlıklarla birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca literatürde benimseme sonrasında danışmanlık hizmetlerinin değerinin artabildiğine işaret eden bulgular, bulut muhasebenin yalnızca maliyet azaltıcı bir araç değil, aynı zamanda değer üreten stratejik bir altyapı olarak konumlandırılmasını desteklemektedir (Ma vd., 2021).

Bu öneriler, bulut muhasebenin benimsenmesini yalnızca teknik yeterlilikler veya maliyet avantajları üzerinden değil; pazarlama söylemiyle şekillenen algılar, güven ilişkileri ve değer anlatıları üzerinden ele almanın gerekliliğine işaret etmektedir. Çalışmanın ortaya koyduğu bulgular, bulut muhasebenin dijital hizmet ekonomisi içinde giderek daha fazla ikna, anlamlandırma ve konumlandırma süreçleriyle birlikte değerlendirildiğini göstermektedir. Bu bağlamda, bulut muhasebe benimsemesi; teknoloji merkezli açıklamaların ötesinde, pazarlama söyleminin yapılandırıcı rolünü dikkate alan bütüncül bir perspektifle yeniden düşünülmelidir. Böyle bir yaklaşım, hem akademik literatürde yeni araştırma açılımlarına zemin hazırlamakta hem de uygulayıcılar için daha etkili ve sürdürülebilir benimseme stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11 (4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., Katz, R., Konwinski, A., ... Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53 (4), 50-58. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>.
- Athaide, G. A., Jeon, J., Raj, S. P., Sivakumar, K., & Xiong, G. (2024). Marketing innovations and digital technologies: A systematic review, proposed framework, and future research agenda. *Journal of Product Innovation Management*. <https://doi.org/10.1111/jpim.12741>.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>.
- Dimitriu, O., & Matei, M. (2015). A new paradigm for accounting through cloud computing. *Procedia Economics and Finance*, 15, 840-846. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00538-9](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00538-9).
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.
- Elitaş, C., & Özdemir, S. (2014). Bulut bilişim ve muhasebede kullanımı. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 16 (2), 93-108.
- Figueiredo, F., Gonçalves, M. J. A., & Teixeira, S. (2021). Information technology adoption on digital marketing: A literature review. *Informatics*, 8 (4), 74. <https://doi.org/10.3390/informatics8040074>.
- Gefen, D., Karahanna, E., & Straub, D. W. (2003). Trust and TAM in online shopping: An integrated model. *MIS Quarterly*, 27 (1), 51-90. <https://doi.org/10.2307/30036519>.
- Hamzah, A., Suhendar, D., & Arifin, A. Z. (2023). Factors affecting cloud accounting adoption in SMEs. *Jurnal Akuntansi*, 27 (3), 442-464. <https://doi.org/10.24912/ja.v27i3.1520>.
- Kavalieraki-Foka, D., Asonitou, S., Kottara, C., & Roussis, A.-G. (2025). Adoption of cloud accounting: Delving into accountants' intentions. *Journal of Research in Business and Management*, 13 (6), 92-108.
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2016). *Marketing management* (15th ed.). Pearson Education.
- Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2017). *Marketing 4.0: Moving from traditional to digital*. Wiley.
- Ma, D., Fisher, R., & Nesbit, T. (2021). Cloud-based client accounting and small and medium accounting practices: Adoption and impact. *International Journal of Accounting Information Systems*, 41, 100513. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2021.100513>.
- Musyaffi, A. M., Johari, R. J., Hendrayati, H., Wolor, C. W., Armeliza, D., Mukhibad, H., & Izwandi, H. S. C. (2024). Exploring technological factors and cloud accounting adoption in MSMEs: A comprehensive TAM framework. *International Review of Management and Marketing*, 15 (1), 283-292. <https://doi.org/10.32479/irmm.17451>.
- Nguyen, G. P., Hoang, T. H., & Nguyen, H. T. B. (2025). The impact of cloud computing technology on cloud accounting adoption and financial management of businesses. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, Article 851. <https://doi.org/10.1038/s41599-025-05190-3>.
- Plangger, K., Grewal, D., de Ruyter, K., & Tucker, C. (2022). The future of digital technologies in marketing: A conceptual framework and an overview. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 50, 1125-1134. <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00906-2>.
- Septiawan, B., Mohamed, I. S., Zakaria, Y., & Hermawan, A. (2025). A systematic review of cloud accounting adoption in SMEs: Factors, impacts, and research directions. *Accounting Research Institute Working Papers*.
- Sibuea, A. Y., Sinaga, M. B., & Muda, I. (2021). Cloud accounting adoption in SMEs: An overview. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 2 (1), 26-30.
- Swadia, B. U. (2024). Cloud accounting adoption among chartered accountants: Perceived challenges and growth opportunities. *Library Progress International*, 44 (3), 1-15. <https://doi.org/10.48165/bapas.2024.44.2.1>.

- Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a new dominant logic for marketing. *Journal of Marketing*, 68 (1), 1-17. <https://doi.org/10.1509/jmkg.68.1.1.24036>.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27 (3), 425-478.
- Zeithaml, V. A., Bitner, M. J., & Gremler, D. D. (2018). *Services marketing: Integrating customer focus across the firm* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Župič, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18 (3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.

## DİJİTAL YOLSUZLUK LİTERATÜRÜNDE REKLAM MANİPÜLASYONUNUN İZİNİ SÜRMEK

**Prof. Dr. Seyhan ÖZTÜRK**

Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kars.

**ORCID NO:** 0000-0003-1458-840X

**Prof. Dr. Filiz ASLAN ÇETİN**

Kafkas Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kars.

**ORCID NO:** 0000-0002-8210-799X

### Özet

Yolsuzluk, ülkelerin gelişmişlik düzeyinden bağımsız olarak ekonomik büyümeyi, kurumsal güveni ve kamu hizmetlerinin etkinliğini olumsuz etkileyen küresel bir sorun olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşme süreci, yolsuzlukla mücadelede e-devlet ve bilgi teknolojilerine dayalı uygulamaları güçlendirirken, aynı zamanda dijital ortamların yeni yolsuzluk ve manipülasyon biçimlerine zemin hazırladığı yönünde tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Bu çalışma, dijital yolsuzluk literatürü içinde reklam manipülasyonu kavramının konumunu ve dolaylı görünümünü incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, bibliyometrik analiz yöntemi kullanılarak Web of Science (WoS) veri tabanında 2007-2026 yılları arasında yayımlanan 124 akademik çalışmanın analizine dayanmaktadır. Analiz sürecinde R yazılımı kullanılmış; yayın türleri, yıllara göre dağılım, ülke ve kurum bazlı üretkenlik, yazar ve ortak atıf ağları ile anahtar kelime kümelenmeleri incelenmiştir. Bulgular, literatürün ağırlıklı olarak ekonomi, işletme-finans ve yönetim alanlarında yoğunlaştığını ve özellikle 2019 sonrası dönemde belirgin bir yayın artışı yaşandığını göstermektedir. Kelime bulutları ve birlikte oluşma ağları, yolsuzluk tartışmalarının dijitalleşme, teknoloji, yönetim ve performans kavramları etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Reklam manipülasyonu kavramının ise bu yapısal çerçeve içinde doğrudan değil, dijital araçlar, veri kullanımı ve platform temelli uygulamalar üzerinden dolaylı biçimde yer aldığı görülmektedir. Çalışma, dijital yolsuzluk literatürünün genel eğilimlerini ortaya koyarak reklam manipülasyonuna odaklanan gelecekteki araştırmalar için kavramsal bir zemin sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital Yolsuzluk, Reklam Manipülasyonu, Bibliyometrik Analiz, Web Of Science, Dijitalleşme.

### TRACING ADVERTISING MANIPULATION IN THE DIGITAL CORRUPTION LITERATURE

#### Abstract

Corruption stands out as a global problem that negatively affects economic growth, institutional trust, and the effectiveness of public services, regardless of countries' levels of development. While the process of digitalization has strengthened technology-based tools such as e-

government applications in the fight against corruption, it has also generated debates on how digital environments may facilitate new forms of corruption and manipulation. This study aims to trace the position and indirect manifestations of advertising manipulation within the digital corruption literature. The research is based on a bibliometric analysis of 124 academic publications indexed in the Web of Science (WoS) database between 2007 and 2026. R software was employed to analyze publication types, temporal distribution of studies, country- and institution-based productivity, author and co-citation networks, and keyword co-occurrence structures. The findings indicate that the literature is largely concentrated in the fields of economics, business-finance, and management, with a significant increase in publication volume after 2019. Keyword analyses and co-occurrence networks reveal that discussions of corruption are predominantly framed around digitalization, technology, governance, and performance. Within this context, advertising manipulation does not appear as a central or explicitly defined concept, but rather emerges indirectly through debates on digital tools, data-driven practices, and platform-based systems. By mapping the intellectual structure and thematic tendencies of the digital corruption literature, this study provides a conceptual foundation for future research that seeks to examine advertising manipulation more directly within digital environments.

**Keywords:** Digital Corruption, Advertising Manipulation, Bibliometric Analysis, Web Of Science, Digitalization.

### Giriş

Yolsuzluk, günümüzde ekonomik büyümeyi, kurumsal güveni ve kamu hizmetlerinin etkinliğini olumsuz etkileyen temel küresel sorunlardan biri olarak kabul edilmektedir. Kamu kaynaklarının etkin olmayan biçimde kullanılması, yatırım ortamının zayıflaması ve yönetim kalitesinin düşmesi gibi sonuçlar, yolsuzluğu yalnızca ekonomik değil aynı zamanda siyasal ve toplumsal bir problem alanı haline getirmektedir. Bu nedenle yolsuzlukla mücadele, uzun süredir ulusal ve uluslararası düzeyde politika yapıcıların ve akademik çevrelerin öncelikli gündem maddeleri arasında yer almaktadır.

Dijitalleşme süreci, yolsuzlukla mücadelede kullanılan araç ve yöntemleri önemli ölçüde dönüştürmüştür. Özellikle bilgi ve iletişim teknolojilerinin kamu yönetimine entegre edilmesiyle birlikte e-devlet uygulamaları, şeffaflığın artırılması, bürokratik süreçlerin izlenebilir hale getirilmesi ve takdir yetkisinin sınırlandırılması açısından önemli bir rol üstlenmiştir. Bu gelişmeler, dijital teknolojilerin yolsuzlukla mücadelede etkili bir araç olarak konumlandırılmasına yol açarken, dijital ortamların kendisinin yeni riskler ve sorun alanları

üretmesi de giderek daha fazla tartışılmaktadır. Bu bağlamda literatürde giderek yaygınlaşan “dijital yolsuzluk” kavramı, dijital teknolojilerin hem yolsuzluğu azaltma potansiyeline hem de yeni yolsuzluk ve manipülasyon biçimlerine zemin hazırlayan yapısına işaret etmektedir. Dijital platformlar, veri temelli sistemler ve algoritmik süreçler, şeffaflık ve verimlilik vaat ederken aynı zamanda yeni güç asimetrisi ve denetim sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu durum, dijitalleşmenin yönetim üzerindeki etkilerinin daha eleştirel bir perspektifle ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bununla birlikte reklamcılık ve pazarlama faaliyetleri, dijitalleşmenin en yoğun ve hızlı biçimde etkilediği alanlardan biridir. Veri temelli hedefleme, algoritmik görünürlük ve platform ekonomileri, reklam pratiklerini yalnızca ikna edici iletişim süreçleri olmaktan çıkararak daha geniş yapısal tartışmaların parçası haline getirmiştir. Ancak dijital yolsuzluk literatüründe reklam manipülasyonu çoğunlukla doğrudan ele alınmamakta; daha çok dijital yönetim, veri kullanımı, şeffaflık ve platform gücü tartışmaları içinde dolaylı biçimde yer almaktadır. Bu durum, reklam manipülasyonunun dijital yolsuzluk bağlamındaki konumunun sistematik olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu çalışma, dijital yolsuzluk literatüründe reklam manipülasyonunun izini sürmeyi amaçlamaktadır. Web of Science veri tabanında yer alan akademik yayınlar üzerinden gerçekleştirilen bibliyometrik analiz aracılığıyla, literatürün genel eğilimleri, tematik yoğunlaşmaları ve kavramsal yapısı ortaya konulmaktadır. Bu yönüyle çalışma, dijital yolsuzluk literatürünün mevcut görünümünü haritalandırmayı ve reklam manipülasyonuna odaklanan gelecekteki çalışmalar için sağlam bir kavramsal zemin sunmayı hedeflemektedir.

### **Reklam Manipülasyonu**

Dijitalleşme süreci, reklamcılık pratiklerini yalnızca teknik açıdan değil, yapısal olarak da dönüştürmüştür; reklam faaliyetleri veri temelli, algoritmik ve platform odaklı bir çerçevede yeniden şekillenmiştir. Geleneksel kitle iletişimine dayalı reklam anlayışının yerini, kullanıcıların çevrimiçi davranışları üzerinden geliştirilen hedefleme ve kişiselleştirme uygulamaları almıştır. Bu dönüşümle birlikte reklam, yalnızca ikna edici bir iletişim faaliyeti olmaktan çıkarak dijital altyapılar ve platform ekonomileri içinde işleyen çok katmanlı bir sürecin parçası haline gelmiştir (Fuchs, 2017). Bu bağlamda reklam manipülasyonu kavramı, güncel literatürde özellikle çevrimiçi davranışsal reklamcılık ve algoritmik hedefleme ekseninde tartışılmaktadır. Kullanıcıların dijital izleri üzerinden gerçekleştirilen veri toplama ve profilleme süreçleri, reklam mesajlarının bireylerin bilişsel ve duygusal eğilimlerine göre uyarlanmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla reklamın manipülatif etkisi yalnızca içerikle

sınırlı kalmamakta; mesajın kime, ne zaman ve hangi bağlamda sunulduğu da belirleyici hale gelmektedir (Zuboff, 2019).

Öte yandan platform temelli reklam ekosistemlerinde algoritmik sistemler, reklam görünürlüğünü ve erişimini belirleyen temel mekanizmalar olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, reklamverenler ve kullanıcılar açısından platformlara artan bir bağımlılık yaratırken, şeffaflık ve hesap verebilirlik tartışmalarını da beraberinde getirmektedir. Reklam manipülasyonu bu çerçevede, yanıltıcı içerik üretiminden çok, dijital altyapıların işleyişine gömülü olan sistemik bir sorun alanı olarak değerlendirilmektedir (OECD, 2022). Buna ek olarak yapay zekâ destekli reklamcılık uygulamalarının yaygınlaşması, reklam manipülasyonuna ilişkin tartışmaları daha karmaşık bir düzleme taşımıştır. Gerçek zamanlı açık artırmalar, otomatik içerik optimizasyonu ve mikro hedefleme teknikleri, reklam süreçlerinin hızını ve ölçeğini artırırken, denetlenebilirliğini ise önemli ölçüde zorlaştırmaktadır. Pazarlama literatüründe bu uygulamalar çoğunlukla etkinlik ve verimlilik artışıyla ilişkilendirilse de, eleştirel yaklaşımlar tüketici özerkliği, etik sorumluluk ve algoritmik şeffaflık açısından ortaya çıkan risklere dikkat çekmektedir (Zard, 2024).

Dijital yolsuzluk literatürü açısından bakıldığında ise reklam manipülasyonu genellikle doğrudan ele alınan bir kavram değildir. Bununla birlikte veri kullanımı, platform gücü, algoritmik yönetim ve şeffaflık eksikliği gibi temalar üzerinden dolaylı biçimde tartışılmaktadır. Reklamcılığın dijital platformlara yapısal olarak bağımlı hale gelmesi, kamusal denetim ve piyasa adaleti açısından yeni sorun alanları doğurmakta; bu durum reklam manipülasyonunun dijital yolsuzluk tartışmalarıyla kesiştiği bir kavramsal zemin oluşturmaktadır. Bu nedenle reklam manipülasyonu, dijital yolsuzluk literatürü içinde içerik düzeyinden ziyade sistem düzeyinde ele alınması gereken bir olgu olarak öne çıkmaktadır.

### **Dijital Yolsuzluk**

Yolsuzluk, günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeyinden bağımsız olarak karşılaştığı en kritik küresel sorunların başında gelmektedir. Sadece ekonomiye olan güveni sarsmakla kalmayan bu olgu; yatırımları engellemekte, kamu hizmetlerinin kalitesini düşürmekte ve milli geliri aşındırmaktadır. Bireyleri kayıt dışı ekonomiye iterek vergi kayıplarına yol açan yolsuzluk, aynı zamanda kamu kaynaklarının israf edilmesine ve devletin temel görevlerini yerine getirememesine neden olmaktadır. Geleneksel yöntemlerin bu sorunla mücadelede yetersiz kaldığını gören hükümetler, giderek teknoloji temelli çözümlere yönelmektedir. Bu kapsamda artan bilişim yatırımlarıyla birlikte, şeffaflığı artırmayı hedefleyen e-devlet uygulamaları yolsuzlukla mücadelenin önemli araçlarından biri haline gelmiştir (Bolayır & Keyifli, 2022).

Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, dijitalleşmenin yolsuzlukla mücadelede tek başına yeterli bir çözüm olmadığını da ortaya koymaktadır. E-devlet uygulamaları, kamu işlemlerinin otomatikleştirilmesi ve izlenebilirliğin artırılması yoluyla yolsuzluk risklerini azaltma potansiyeline sahip olsa da, bu etkinin kurumsal kapasite, yönetim kalitesi ve dijital kapsayıcılık gibi faktörlere bağlı olduğu vurgulanmaktadır (Seiam & Salman, 2024). Nitekim sistematik literatür incelemeleri, dijital araçların yolsuzluğu azaltıcı etkisinin, ancak güçlü hukuki çerçeveler ve hesap verebilirlik mekanizmalarıyla desteklendiğinde sürdürülebilir hale geldiğini göstermektedir (Mudeya et al., 2026).

Bu çerçevede literatürde giderek daha sık kullanılan “dijital yolsuzluk” kavramı, dijital teknolojilerin hem yolsuzlukla mücadeledeki rolünü hem de yeni risk alanları üretme potansiyelini birlikte ele almaktadır. Dijital platformlar, büyük veri uygulamaları ve algoritmik karar mekanizmaları, şeffaflık ve verimlilik vaat ederken; aynı zamanda denetim eksiklikleri, veri asimetrisi ve yeni güç yoğunlaşmaları yaratabilmektedir. Bu durum, dijitalleşmenin yalnızca teknik bir modernleşme süreci olarak değil, aynı zamanda yönetim ve kamu etiği bağlamında eleştirel biçimde değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir (OECD, 2023).

Özellikle son dönemde yayımlanan uluslararası raporlar, dijital araçların yolsuzlukla mücadelede artan biçimde kullanıldığını, ancak uygulama ile politika hedefleri arasında önemli boşluklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Dijital izleme sistemleri, veri analitiği ve yapay zekâ temelli uygulamalar, kamu kurumlarının risk tespit kapasitesini artırırken; bu teknolojilerin şeffaflık, hesap verebilirlik ve etik ilkelerle uyumlu biçimde tasarlanmaması durumunda yeni yolsuzluk biçimlerine zemin hazırlayabileceği de vurgulanmaktadır (OECD, 2026; World Bank, 2024). Dolayısıyla dijital yolsuzluk, yalnızca teknolojik eksikliklerden kaynaklanan bir sorun alanı değil; dijitalleşmenin kurumsal, yönetsel ve toplumsal boyutlarıyla birlikte ele alınması gereken çok katmanlı bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda dijital dönüşüm süreçlerinin, yolsuzlukla mücadelede etkin olabilmesi için teknik kapasitenin yanı sıra güçlü yönetim ilkeleri, şeffaflık mekanizmaları ve kamusal denetim süreçleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

### **Bulgular**

Bu bölümde, dijital yolsuzluk literatürünün bibliyometrik analiz yoluyla elde edilen temel bulguları sunulmaktadır. Bulgulara geçmeden önce, analiz sürecinin dayandığı veri setinin nasıl oluşturulduğunu ve hangi ölçütlerle sınırlandırıldığını açıklamak önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada Web of Science (WoS) veri tabanında belirlenen arama sorgusu üzerinden yürütülen taramanın kapsamı; seçilen belge türleri, zaman aralığı, dil kriteri, analizde kullanılan araç ve

nihai belge sayısı gibi parametreler çerçevesinde yapılandırılmıştır. Böylece hem veri setinin sınırları şeffaf biçimde ortaya konulmakta hem de bulguların hangi metodolojik çerçeveye dayandığı netleştirilmektedir. Söz konusu arama ve seçim sürecine ilişkin genel çerçeve Tablo 1’de özetlenmektedir.

**Tablo 4.** Belge İçin Arama Çerçevesi

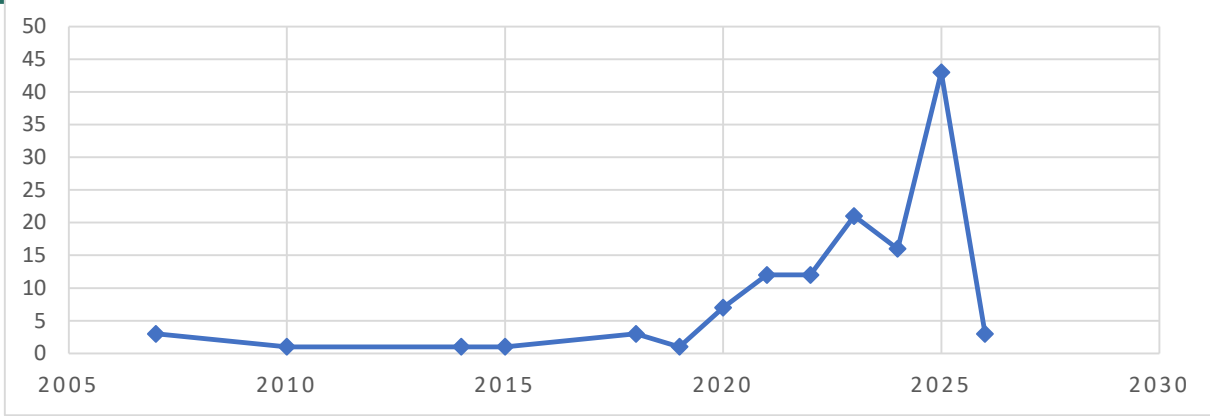
Parametreler	Seçim
Seçim yaklaşımı	Bibliyometrik analiz
Kullanılan veritabanı	WoS (Web of Science)
Analiz için kullanılan araçlar	R
Arama sorgusu	Dijital Yolsuzluk
Belgenin niteliği	Makale/Bildiri/Kitap Bölümü
Zaman aralığı	2007-2026
Dil	İngilizce
Analiz için toplam belge sayısı	124
Yayın aşaması	Son

Veriler analiz edilirken belge arama noktasındaki genel çerçeve Tablo 1’de gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Belge Ölçütlerinin Değerlendirilmesi

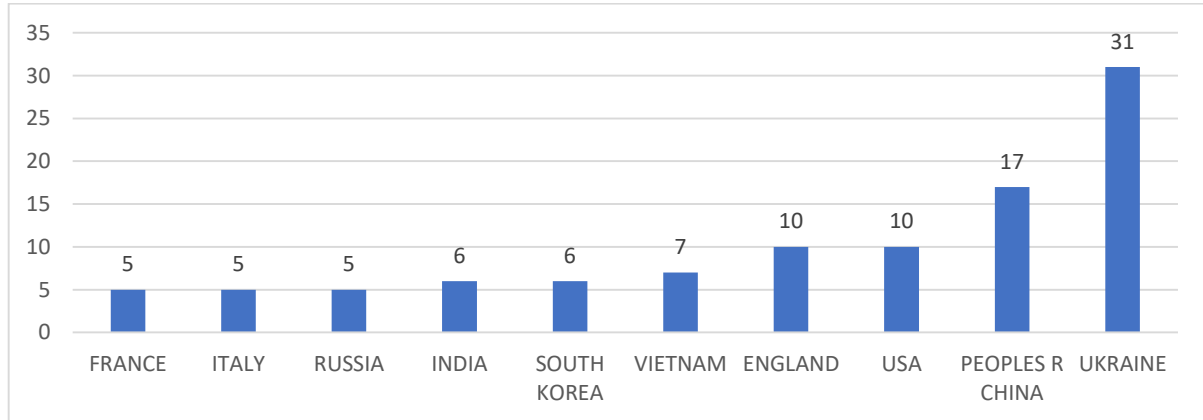
Ölçütler	Rakamsal Değer
<b>Belge Türleri</b>	
Makale	120
Bildiri	3
Kitap Bölümü	1
<b>WoS Kategorileri</b>	
Ekonomi	61
İşletme-Finans	55
Yönetim	8
<b>WoS Endeksi</b>	
Gelişen Kaynaklar Atıf İndeksi (ESCI)	70
Sosyal Bilimler Atıf İndeksi (SSCI)	50
Konferans Bildirileri Atıf Dizini-Sosyal Bilimler ve Beşeri Bilimler (CPCI-SSH)	3
Kitap Atıf Dizini - Sosyal Bilimler ve Beşeri Bilimler (BKCI-SSH)	1
<b>Toplam</b>	124

Tablo 2 incelendiğinde toplam 124 belgenin büyük çoğunluğunu 120 adet ile makalelerin oluşturduğu, bildirilerin (3) ve kitap bölümlerinin (1) ise oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. WoS kategorileri açısından değerlendirildiğinde çalışmaların ağırlıklı olarak Ekonomi (61) ve İşletme-Finans (55) alanlarında yoğunlaştığı, Yönetim (8) kategorisinin ise daha sınırlı temsil edildiği anlaşılmaktadır. WoS indeks dağılımında ise ESCI (70) ve SSCI (50) öne çıkmakta, CPCI-SSH (3) ve BKCI-SSH (1) daha düşük paya sahiptir. Bu bulgular, literatürün büyük ölçüde ekonomi ve finans eksenli, hakemli dergi makaleleri ağırlıklı ve uluslararası atıf indekslerinde yer alan yayınlardan oluştuğunu göstermektedir.



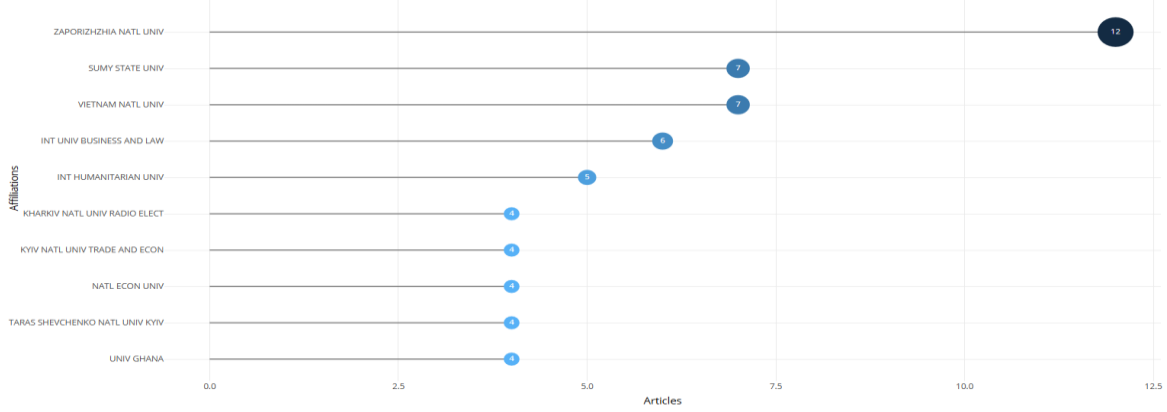
Şekil 10. Yıllara Göre Yayın Grafiği

Şekil 1 incelendiğinde 2007-2018 döneminde yayın sayılarının oldukça düşük ve durağan seyrettiği, 2019 sonrası dönemde ise belirgin bir artış eğiliminin başladığı görülmektedir. Özellikle 2021'den itibaren yayın üretimi hızlanmış, 2024 yılında önemli bir sıçrama yaşanmış ve 2025 yılında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2026 yılında görülen düşüşün ise yılın henüz tamamlanmamış olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilebilir. Genel olarak grafik, literatürün son yıllarda hızlı bir ivme kazandığını ve konunun güncel araştırma gündeminde güçlü bir yer edindiğini göstermektedir.



Şekil 11. Ünelere Göre Makale Sayıları (İlk 10 Ülke)

Şekil 2 incelendiğinde en yüksek yayın sayısına sahip ülkenin 31 makale ile Ukrayna olduğu görülmektedir. Ukrayna'yı 17 yayımla Çin Halk Cumhuriyeti, 10'ar yayımla ABD ve İngiltere takip etmektedir. Vietnam (7), Hindistan ve Güney Kore (6'şar) orta düzeyde katkı sağlarken; Fransa, İtalya ve Rusya'nın 5'er yayımla daha sınırlı katkı sunduğu görülmektedir. Bu dağılım, literatürde özellikle Ukrayna ve Asya merkezli ülkelerin belirgin bir ağırlığa sahip olduğunu ve araştırma üretiminin belirli coğrafi odaklar etrafında yoğunlaştığını göstermektedir.



Şekil 12. En İlgili Bağlantılı Kuruluşlar ( İlk 10 Kuruluş)

Şekil 3 incelendiğinde en yüksek yayım sayısına sahip kurumun 12 makale ile Zaporizhzhia National University olduğu görülmektedir. Onu 7’şer yayımla Sumy State University ve Vietnam National University izlemektedir. 6 yayım ile International University of Business and Law, 5 yayım ile International Humanitarian University dikkat çekmektedir. Diğer kurumların ise 4 yayım düzeyinde kümelendiği görülmektedir. Bu dağılım, literatürde özellikle Ukrayna merkezli üniversitelerin belirgin bir ağırlığa sahip olduğunu ve kurumsal üretimin belirli akademik merkezler etrafında yoğunlaştığını göstermektedir.

Tablo 6. En İlgili Yazarlar

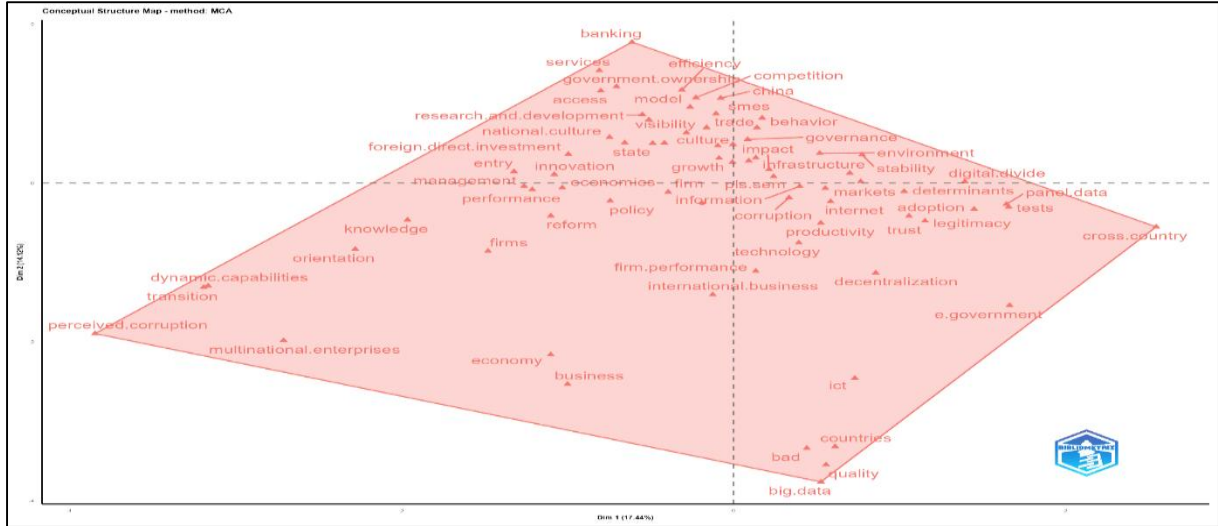
Author	Publication Count	Numerical Value
1	AKARENKOV O	5
2	DING Y	2
3	HA LT	2
4	KOLOMOIETS T	2
5	LI S	2
6	MASLOVA Y	2
7	MINIAILO V	2
8	NAZAROVA K	2
9	NOVIKOVA N	2
10	SACCHI A	2

Tablo 3 incelendiğinde en üretken yazarın 5 yayım ile Akarenkov O olduğu görülmektedir. Diğer dokuz yazarın her birinin 2 yayımla katkı sağladığı dikkat çekmektedir. Bu dağılım, literatürde belirgin bir lider yazarın bulunduğunu ancak genel olarak üretimin birkaç araştırmacı arasında dengeli biçimde paylaşıldığını göstermektedir. Özellikle ikinci sıradan itibaren yayım sayılarının eşit olması, alanın tek bir araştırmacı tarafından domine edilmediğini, aksine çok yazarlı ve görece homojen bir katkı yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. En Sık Kullanılan Kelimeler

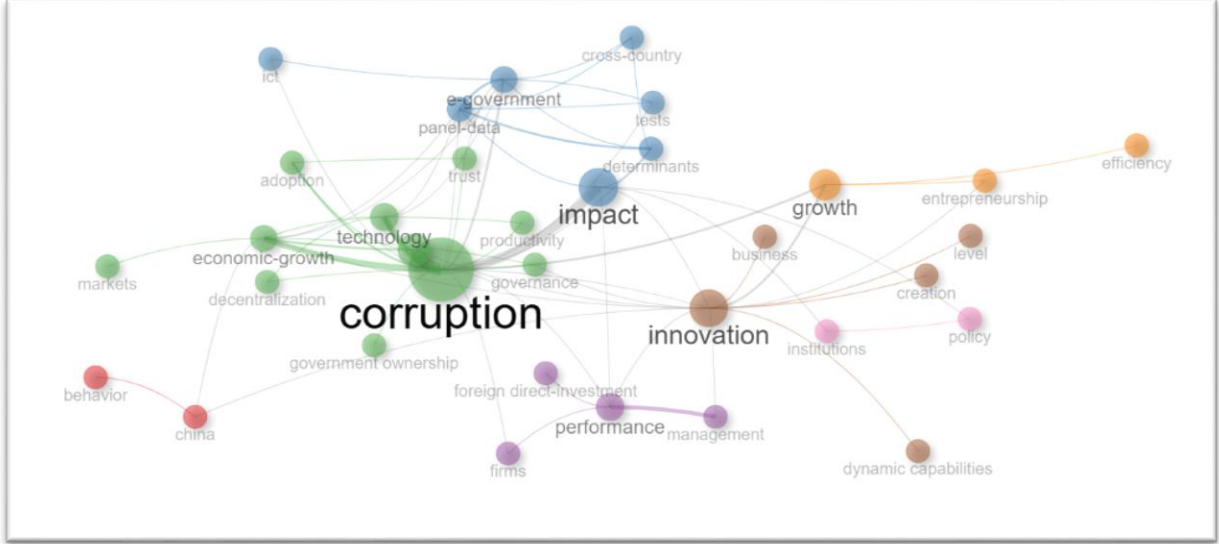
Şekil 4’te yer alan kelime bulutu incelendiğinde literatürde en baskın kavramın “corruption” olduğu açıkça görülmektedir. Bununla birlikte “impact”, “innovation”, “technology”, “information”, “growth” ve “performance” kavramlarının da yüksek frekansta kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bu dağılım, çalışmaların ağırlıklı olarak yolsuzluğun ekonomik büyüme, yenilikçilik, teknoloji kullanımı ve kurumsal performans üzerindeki etkilerine odaklandığını göstermektedir. Ayrıca “panel data”, “foreign direct investment”, “governance”, “institutions” ve “e-government” gibi kavramların varlığı, metodolojik olarak ampirik ve veri temelli analizlerin ön planda olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak kelime dağılımı, yolsuzluk–kurumsal yapı–teknoloji–büyüme ekseninde şekillenen bütüncül bir araştırma çerçevesine işaret etmektedir.



Şekil 5. Faktöryel Analiz Haritası

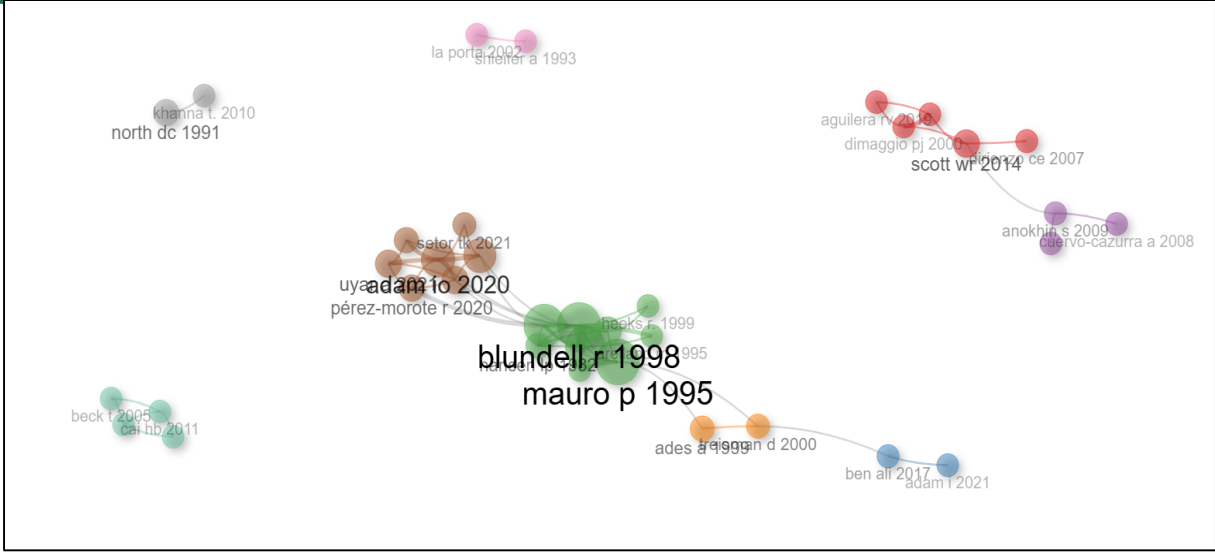
Şekil 5’te sunulan faktöryel analiz (MCA) haritası incelendiğinde kavramların iki temel eksen etrafında kümелendiği görülmektedir. Sağ tarafta yer alan “cross-country”, “e-government”, “ICT”, “big data”, “quality” ve “panel data” gibi kavramlar daha çok dijitalleşme, veri temelli analizler ve ülkeler arası karşılaştırmalı çalışmalarla ilişkilidir. Sol tarafta ise “perceived corruption”, “dynamic capabilities”, “multinational enterprises” ve “transition” gibi kavramlar

kurumsal yapı, dönüşüm ve algısal boyutlara işaret etmektedir. Merkez bölgede “corruption”, “impact”, “governance”, “innovation”, “growth” ve “policy” gibi temel kavramların konumlanması, literatürün ana ekseninin yolsuzluk–yönetişim–büyüme ilişkisi etrafında şekillendiğini göstermektedir. Genel olarak harita, dijitalleşme ve veri odaklı çalışmalar ile kurumsal ve yapısal analizlerin aynı araştırma çerçevesinde bütünleştiğini ortaya koymaktadır.



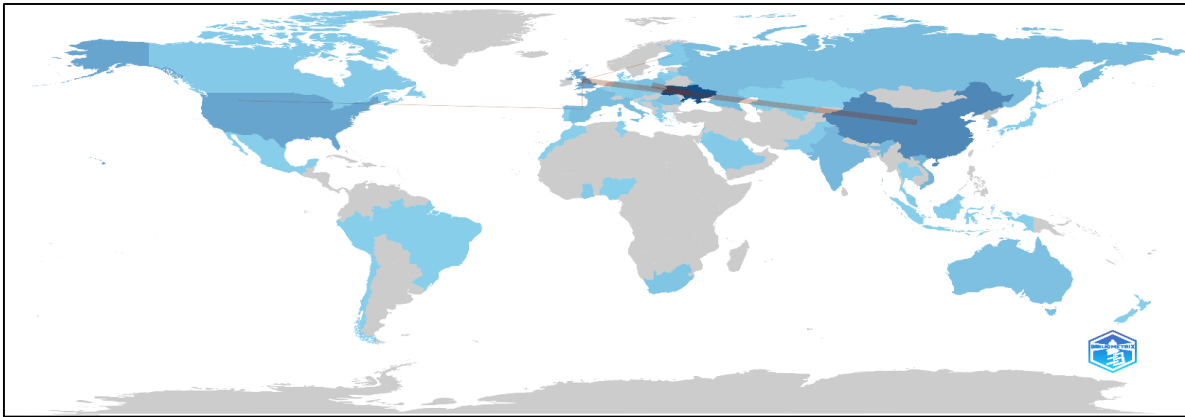
Şekil 6. Birlikte Oluşma Ağı

Şekil 6’deki birlikte oluşma ağı incelendiğinde literatürün merkezinde “corruption”, “impact” ve “innovation” kavramlarının yer aldığı görülmektedir. “Corruption” kavramı özellikle teknoloji, yönetim, ekonomik büyüme ve hükümet sahipliği gibi değişkenlerle güçlü bağlantılar kurarak alanın temel tartışma eksenini oluşturmaktadır. “Impact” düğümü panel veri, belirleyiciler ve e-devlet gibi metodolojik ve ampirik temalarla ilişkilendirilirken; “innovation” kavramı büyüme, girişimcilik, politika ve kurumsal yapı gibi konularla bağlantılıdır. Ayrıca performans, firmalar ve yabancı doğrudan yatırım gibi kavramların daha alt kümelerde yer aldığı görülmektedir. Genel olarak ağ yapısı, yolsuzluk–teknoloji–büyüme ekseninde şekillenen ve kurumsal ile firma düzeyindeki etkileri inceleyen bütüncül bir araştırma çerçevesine işaret etmektedir.



Şekil 7. Yazarların Ortak Atıf Ağı

Şekil 7’de sunulan ortak atıf ağı incelendiğinde, literatürün belirli çekirdek yazarlar etrafında kümelendiği görülmektedir. Özellikle Mauro (1995) ve Blundell (1998) çalışmalarının ağı merkezinde yer alarak en yoğun atıf alan ve diğer çalışmalarla en güçlü bağlantıyı kuran referanslar olduğu dikkat çekmektedir. Bu merkezî yapı, alanın teorik ve metodolojik temelinin büyük ölçüde bu erken dönem çalışmalara dayandığını göstermektedir. Ayrıca Adam (2020) ve Scott (2014) gibi daha güncel çalışmaların ayrı kümeler oluşturduğu ve literatürde tematik alt alanların geliştiğini işaret ettiği görülmektedir. Genel olarak ağ yapısı, klasik referanslar etrafında şekillenen ancak zamanla yeni kümelenmelerle genişleyen bir bilgi birikimine işaret etmektedir.



Şekil 8. Ülkelerin İşbirliği Ağı

Şekil 8’deki ülke işbirliği haritası incelendiğinde işbirliği ağının ağırlıklı olarak Avrupa merkezli yoğunlaştığı ve özellikle Ukrayna’nın ağı önemli bir düğüm noktası olarak öne çıktığı görülmektedir. Ukrayna ile Çin, İngiltere ve ABD arasında belirgin bağlantılar bulunmakta, bu durum işbirliklerinin Doğu Avrupa ile Asya ve Batı ülkeleri arasında köprü niteliği taşıdığını göstermektedir. Ayrıca Avrupa içi bağlantıların da güçlü olduğu dikkat

çekmektedir. Genel olarak harita, işbirliklerinin belirli bölgesel merkezler etrafında kümelenildiğini ve çok taraflı uluslararası etkileşimin sürdüğünü ortaya koymaktadır.

### **Sonuç ve Öneriler**

Bu çalışma, dijital yolsuzluk literatürü içinde reklam manipülasyonunun izini sürmeyi amaçlamış ve Web of Science veri tabanında yer alan yayınlar üzerinden gerçekleştirilen bibliyometrik analiz yoluyla alanın genel yapısını ve eğilimlerini ortaya koymuştur. Bulgular, dijital yolsuzluk çalışmalarının büyük ölçüde ekonomi, işletme-finans ve yönetim disiplinlerinde yoğunlaştığını; buna karşılık iletişim, pazarlama ve reklamcılık odaklı tartışmaların literatürde sınırlı düzeyde temsil edildiğini göstermektedir. Özellikle 2019 sonrası dönemde yayın sayısında gözlenen belirgin artış, dijitalleşme ve yolsuzluk ilişkisine yönelik akademik ilginin güçlendiğine işaret etmektedir.

Ortak atıf, anahtar kelime ve kavramsal ağ analizleri, literatürün teorik ve metodolojik temelinin büyük ölçüde klasik çalışmalara dayandığını, ancak zamanla dijitalleşme, e-devlet, teknoloji ve yönetim temaları etrafında yeni alt kümelenmelerin oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, dijital yolsuzluğun yalnızca geleneksel kamu yönetimi sorunları bağlamında değil, aynı zamanda veri temelli sistemler ve dijital altyapılar çerçevesinde ele alındığını göstermektedir. Bununla birlikte reklam manipülasyonu kavramının, dijital yolsuzluk literatüründe doğrudan ve merkezî bir araştırma konusu olarak ele alınmadığı; daha çok platform gücü, veri asimetrisi ve şeffaflık eksikliği gibi başlıklar içinde dolaylı biçimde yer aldığı dikkat çekmektedir.

Elde edilen bulgular, reklam manipülasyonunun dijital yolsuzluk bağlamında önemli bir kavramsal boşluğa işaret ettiğini göstermektedir. Dijital reklamcılık pratiklerinin algoritmik hedefleme, mikro-segmentasyon ve platform temelli görünürlük mekanizmaları üzerinden şekillenmesi, bu alanın yalnızca pazarlama etiği çerçevesinde değil, dijital yolsuzluk ve yönetim tartışmaları içinde de değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, pazarlama, iletişim çalışmaları ve kamu yönetimi literatürleri arasında disiplinlerarası bir kesişim alanı bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çerçevede gelecekte yapılacak araştırmalara yönelik çeşitli öneriler geliştirilebilir. Öncelikle, reklam manipülasyonunun dijital yolsuzluk bağlamında doğrudan kavramsallaştırıldığı kuramsal çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. İkinci olarak, bibliyometrik analizlerin nitel içerik analizi, eleştirel söylem analizi ve vaka çalışmalarıyla desteklenmesi, reklam manipülasyonunun somut dijital reklam pratikleri üzerinden daha derinlemesine incelenmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca farklı veri tabanlarını kapsayan karşılaştırmalı bibliyometrik çalışmalar, literatürün coğrafi ve disiplinlerarası farklılıklarını daha görünür

kılabilir. Uygulama düzeyinde ise dijital reklamcılık ekosisteminin şeffaflık, hesap verebilirlik ve etik ilkeler çerçevesinde yeniden değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Platformların reklam görünürlüğü ve veri kullanımı üzerindeki belirleyici rolü göz önüne alındığında, reklam manipülasyonuna yönelik düzenleyici ve yönetim temelli yaklaşımların dijital yolsuzluk tartışmalarıyla birlikte ele alınması gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, dijital yolsuzluk literatürünün mevcut yapısını haritalandırarak reklam manipülasyonuna ilişkin tartışmalar için kavramsal ve yöntemsel bir zemin sunmakta; hem akademik literatüre hem de gelecekteki disiplinlerarası araştırmalara katkı sağlayabilecek bir çerçeve önermektedir.

### Kaynakça

- Adam, I., & Fazekas, M. (2020). Are emerging technologies helping win the fight against corruption? A review of the evidence. *Government Information Quarterly*, 37 (4), Article 101522. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2020.101522>.
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Econometrica*, 66 (1), 115-143. <https://doi.org/10.2307/2998549>.
- Bolayır, A., & Keyifli, Ö. (2022). E-devlet uygulamalarının yolsuzlukla mücadeledeki rolü. *Kamu Yönetimi Araştırmaları Dergisi*, 8 (2), 45-62.
- Fuchs, C. (2017). *Social media: A critical introduction* (2nd ed.). Sage.
- Mauro, P. (1995). Corruption and growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 110 (3), 681-712. <https://doi.org/10.2307/2946696>.
- Mudeya, M. H., Rashidab, R., Abdullahi, U., & Kulmieaa, D. B. (2026). *E-government as an anti-corruption tool: Insights from a systematic literature review*. *Cogent Social Sciences*, 12 (1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2026.2648115>.
- OECD. (2022). *Algorithmic transparency and accountability*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/0d1f4d5b-en>.
- OECD. (2023). *2023 OECD digital government index*. OECD Publishing. [https://www.oecd.org/en/publications/2023-oecd-digital-government-index\\_1a89ed5e-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/2023-oecd-digital-government-index_1a89ed5e-en.html).
- OECD. (2026). *Anti-corruption and integrity outlook 2026: Harnessing the integrity advantage*. OECD Publishing. [https://www.oecd.org/en/publications/anti-corruption-and-integrity-outlook-2026\\_16708b78-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/anti-corruption-and-integrity-outlook-2026_16708b78-en.html).
- Scott, W. R. (2014). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (4th ed.). Sage.
- Seiam, D. A., & Salman, D. (2024). Examining the global influence of e-governance on corruption: A panel data analysis. *Future Business Journal*, 10, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s43093-024-00319-3>
- World Bank. (2024). *Enhancing government effectiveness and transparency: The fight against corruption*. World Bank Group. <https://www.worldbank.org/en/topic/governance/publication/enhancing-government-effectiveness-and-transparency-the-fight-against-corruption>.
- Zard, L. (2024). Consumer manipulation via online behavioral advertising. *Boston University Journal of Science & Technology Law*. <https://arxiv.org/abs/2401.00205>.
- Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

**SÜTÜN SU AYAK İZİ****Zir. Yük. Müh. Sadeddin BEKMEZCİ**

Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Selçuklu/Kampüs/KONYA

**ORCID ID:** 0009-0003-3790-4441**Prof. Dr. Uğur ZÜLKADİR**

Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Selçuklu/Kampüs/KONYA

**ORCID ID:** 0000-0003-3243-4949**ÖZET**

Su, küresel ekonomik kalkınmanın, gıda güvenliğinin ve biyosferik ekosistem dengesini oluşturan en temel yapıdır. Değişen iklim koşulları, artan küresel nüfus ve hızla büyüyen endüstriyel tarım faaliyetleri, gezegenin sınırlı tatlı su kaynakları üzerindeki baskıyı tarihte görülmemiş bir seviyeye çıkarmıştır. Bu kapsamda, tarım sektörü, küresel tatlı su tüketiminin en büyük aktörü konumunda olup, tarımsal su yönetiminin optimizasyonu ulusal güvenlik stratejilerinin merkezine yerleşmiştir. Özellikle süt ve süt ürünleri sektörü, yem bitkisi yetiştiriciliğinden başlayarak canlı hayvan yönetimine ve nihai ürünün endüstriyel tesislerde işlenmesine kadar uzanan tedarik zincirinde son derece yoğun bir su tüketimi profili mevcuttur.

Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda, ülkenin yıllık ortalama 21 milyon tonluk çiğ süt üretiminin yaklaşık 18 kilometreküp (km<sup>3</sup>) tatlı su kullanımına yol açtığı ve tek başına bu devasa hacmin ülke geneli yıllık toplam yağış miktarının yaklaşık %4'üne tekabül ettiği bildirilmiştir. Türkiye'de 1 litre inek sütü üretiminin ortalama 806 litre su ayak izine sahip olduğu, bu hacmin yaklaşık %82'sinin topraktaki nemden kaynaklanan yeşil su, %18'inin ise yerüstü ve yeraltı kaynaklarından çekilen mavi su kaynaklarından oluştuğu tespit edilmiştir.

İzmir ve Konya gibi Türkiye'nin en büyük süt üreticisi olan kapalı ve yarı-kapalı su havzalarının spesifik yeraltı suyu tüketimindeki ekolojik kırılma noktaları detaylı olarak analiz edilmiş; farklı sulama protokolleri, su stresi düşük alternatif yem rasyonu formülasyonları, nitrat kaynaklı gri su yükünün azaltılması ve akıllı tarım teknolojilerinin entegrasyonu gibi sektörel adaptasyon stratejileri geliştirilmiştir. Sonuç olarak bu araştırma, iklim değişikliğinin baskısı altındaki, yarı kurak coğrafyalarda süt sektörünün sürdürülebilirliği için su verimliliğini merkeze alan, çok disiplinli ve etki odaklı bir tatlı su yönetiminin önemini bilimsel kanıtlarla ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, süt üretiminin su ayak izini, kavramsal ve tarihsel temelleri, matematiksel hesaplama metodolojileri ve çevresel etkilerini, akademik çerçevede incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, hacimsel hesaplamalara dayanan Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network - WFN) yaklaşımı ile çevresel ekotoksosite ve su stresi odaklı Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment - LCA / ISO 14046) metodolojileri arasındaki yapısal

farklılıklar incelenmiştir. Literatürde yer alan farklı coğrafyalardaki tatlı su kıtlığı dinamiklerinin (örneğin Yeni Zelanda, Çin, Avustralya ve İspanya örnekleri) bu hesaplamaların sonuçlarına nasıl etkilerde bulunduğu incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Su Ayak İzi, Süt Endüstrisi, Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), Çevresel Sürdürülebilirlik, Su Stresi, Tarımsal Kuraklık.

## WATER FOOTPRINT OF MILK

### ABSTRACT

Water constitutes the fundamental basis of global economic development, food security, and the ecological balance of the biosphere. Changing climatic conditions, a rapidly growing global population, and the expansion of industrial agricultural activities have increased the pressure on the planet's limited freshwater resources to unprecedented levels. Within this context, the agricultural sector is the primary consumer of global freshwater resources; consequently, the optimization of agricultural water management has emerged as a central component of national security strategies. Specifically, the dairy sector exhibits a highly water-intensive consumption profile throughout its supply chain, ranging from forage crop cultivation and livestock management to the industrial processing of final dairy products.

Studies conducted in the context of Türkiye indicate that the country's annual production of approximately 21 million tonnes of raw milk results in the use of nearly 18 cubic kilometres (km<sup>3</sup>) of freshwater, corresponding to roughly 4% of the nation's total annual average precipitation. Moreover, the average water footprint of producing one litre of cow's milk in Türkiye is estimated at approximately 806 litres, of which about 82% consists of green water (derived from soil moisture), while 18% originates from blue water resources (surface and groundwater withdrawals).

The ecological vulnerabilities associated with groundwater consumption in major milk-producing closed and semi-closed basins, such as İzmir and Konya, were analyzed in detail. Based on these findings, several sectoral adaptation strategies were proposed, including alternative irrigation protocols, the development of feed ration formulations with lower water stress, the reduction of nitrate-induced grey water loads, and the integration of smart agriculture technologies into dairy production systems. In conclusion, this research provides scientific evidence highlighting the importance of multidisciplinary and impact-oriented freshwater management strategies that prioritize water-use efficiency to ensure the long-term sustainability of the dairy sector, particularly in semi-arid regions facing increasing pressures from climate change.

This study aims to examine the water footprint of milk production within an academic framework by addressing its conceptual foundations, mathematical calculation methodologies, and environmental implications. Furthermore, the structural differences between the volumetric accounting approach of the Water Footprint Network (WFN) and the water stress-oriented Life Cycle Assessment (LCA / ISO 14046) methodologies were analyzed. In addition, the influence of freshwater scarcity dynamics across different geographical regions (e.g., New Zealand, China, Australia, and Spain) on the outcomes of these assessment methods was evaluated via a comparative analysis of the relevant literature.

**Keywords:** Water Footprint, Dairy Industry, Life Cycle Assessment (LCA), Environmental Sustainability, Water Stress, Agricultural Drought

## 1. GİRİŞ

Tatlı su kaynakları, insanlığın sosyo-ekonomik değişiminde, endüstrinin sürdürülebilirliğinde ve dünya üzerindeki çevre bütünlüğünün korunmasında vazgeçilemez, hayati bir rol oynamaktadır. Makroekonomik perspektiften bakıldığında; tarım, enerji üretimi, imalat sektörleri, gıda ve içecek üretimi ile turizm gibi küresel gayrisafi hasılayı oluşturan neredeyse her temel endüstri, çalışmalarını sürdürebilmek için tatlı suyun sürekli, kaliteli ve öngörülebilir arzına borçludur. (Mekonnen ve Hoekstra, 2012) Ancak, Antroposen çağı ile birlikte insan müdahalesiyle, doğal su döngüsünde meydana gelen şiddetli bozulmalar, tatlı su rezervlerinin küresel ölçekte hem niceliksel (hacimsel) olarak azalmasına hem de niteliksel (kimyasal ve biyolojik kalite) olarak ciddi şekilde bozulmasına neden olmuştur. Değişen iklim koşulları ve buna bağlı olarak ortaya çıkan farklı meteorolojik olaylar, gelecekte su kıtlığının yalnızca belirli kurak coğrafyaların sorunu olmaktan çıkıp, tüm küresel tedarik zincirleri için sistemsel bir tehdit oluşturacağı yönünde kesin bilimsel işaretler vermektedir. (Ridoutt ve Pfister, 2010).

Tatlı su kaynaklarının yönetimi açısından merkezi bir konumda bulunan tarım sektörü, sürdürülebilir su politikalarının hayata geçirilmesinde kilit bir öneme sahiptir. Özellikle hayvansal protein ve süt üretim endüstrisi, verimliliği etkileyen, beslenme, sağlık ve sürü yönetimi unsuruna sahip olmakla birlikte, sektörün uzun vadeli kapasitesini belirleyen en kritik ve kısıtlayıcı fiziksel sınırın "su" olduğu uluslararası bilimsel otoriteler tarafından mutlak bir gerçeklik olarak kabul edilmektedir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Çünkü entegre süt değer zincirinin tüm aşamalarında vazgeçilmez bir girdi olan suyun, sadece bir çevresel faktör olmanın ötesinde, tarımsal ekonomik büyümede ve kırsal kalkınmada göz ardı edilemez bir sermaye payı mevcuttur.

Türkiye gibi Akdeniz Havzası'nın yarı kurak iklim kuşağında yer alan ve halihazırda iklim

krizinin etkilerini en derinden hisseden ülkelerde, su kaynaklarının yönetimi sadece ekonomik değil, aynı zamanda nüfus için hayati bir meselesidir. Türkiye, kişi başına düşen yıllık yaklaşık 1.500 metreküp ( $m^3$ ) kullanılabilir tatlı su miktarı ile su zengini bir ülke olmaktan çok uzaktır ve uluslararası hidrolojik endekslere göre, su sıkıntısı çeken (water-stressed) ülke kategorisinde sınıflandırılmaktadır (Batan, 2021). Ülkedeki mevcut tatlı su rezervinin yaklaşık %39'luk kısmı (yaklaşık 112 milyar ( $m^3$ ), yüzey ve yeraltı suyu formunda doğrudan ekonomik sektörler tarafından tüketilmektedir (Batan, 2021). Bu tüketim, sektörel dağılıma bakıldığında; suyun %73'ünün doğrudan tarımsal sulamaya, %16'sının evsel ve kentsel kullanım suyuna, %11'inin ise sanayi proseslerine tahsis edildiği görülmektedir (Batan, 2021). Geçtiğimiz yarım yüzyıl içinde Türkiye'deki toplam su talebinin artan nüfus, kentleşme ve endüstriyel tarıma geçiş nedeniyle yaklaşık iki katına çıktığı ve iklim değişikliği senaryolarının Doğu Akdeniz için daha uzun ve şiddetli kuraklık periyotları öngördüğü dikkate alındığında, başta sütçülük olmak üzere yüksek su tüketen hayvancılık kollarında sektörel su tahsisinin optimize edilmesi kritik öneme sahip hale gelmiştir (Batan, 2021).

Bu yapısal ve çevresel kriz bağlamında, geleneksel su tüketim metriklerinin yetersiz kalması üzerine, "Su Ayak İzi" kavramı ortaya çıkmıştır. İlk olarak 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafından literatüre kazandırılan ve 2008 yılında Hoekstra ve Chapagain tarafından matematiksel metodolojilerle geliştirilen bu kavram (Hoekstra ve Chapagain, 2008), su tüketimini sadece bir üretim tesisinin sayacından okunan metreküp cinsi bir veri olmaktan çıkarmıştır. Su ayak izi, bir ürünün üretim, işleme, tüketim ve atık yönetimi de dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca su kaynaklarında yarattığı çok boyutlu ekolojik stresi, suyun kalitesindeki düşüşü ve sanal su ticaretinin coğrafi fırsat maliyetlerini ölçen kapsamlı bir sürdürülebilirlik göstergesidir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Bu çok boyutluluk; kullanılan suyun hacminin yanı sıra, suyun türünü (yağmur suyu, yeraltı suyu, kirletilen su), kaynağını, ne zaman ve hangi lokal iklim koşullarında çekildiğini de denkleme katarak, ekosistem üzerindeki gerçek yükü açık hale getirmektedir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Bu makalenin temel amacı, bu karmaşık kavramsal arka plan ışığında, küresel süt endüstrisinin su ayak izi dinamiklerini incelemek, metodolojik tartışmaları (WFN ve LCA tabanlı yaklaşımları) analiz etmek ve elde edilen teorik bulguları Türkiye'nin süt sektörü verileriyle entegre ederek, ülkenin tarımsal su yönetimi politikaları için bilimsel dayanaklı, etkin ve uygulanabilir bir yol haritası sunmaktır.

## 2. SU AYAK İZİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ VE BİLEŞENLERİ

Su ayak izi araştırmalarında, kullanılan metodoloji, elde edilen sonuçların nasıl değerlendirileceğini doğrudan belirlemektedir. Bu nedenle, çalışmanın kuramsal çerçevesinin

ve kullanılan matematiksel yaklaşımların tüm detaylarıyla ortaya konması gerekmektedir. Süt ve ürünlerinin su ayak izini belirlemede temel adım; suyun kaynağını ve çevresel etkisini temsil eden yeşil, mavi ve gri su bileşenlerini doğru sınıflandırmaktır. Literatürde bu durum, suyun kaynağına göre üç ana renk üzerinden tanımlanır: yeşil su (yağmur suyu), mavi su (yüzey ve yeraltı suyu) ve gri su (kirliliği temizlemek için gereken su).

Yeşil su ayak izi, bitkilerin büyüme periyodu boyunca topraktan aldığı ve terleme-buharlaştırma (evapotranspirasyon) yoluyla atmosfere geri döndürdüğü, toprak gözeneklerinde nem olarak depolanan yağış kökenli tatlı suyu ifade eder (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Yeşil su, yüzey akışına karışmadığı ve yer altı kaynaklarını beslemediği için genellikle denetim altında tutulan veya yönetilen bir su kaynağı olarak görülmez. Ancak süt sığırcılığında, özellikle meraya dayalı beslenme sistemlerinde veya sulanmayan alanlarda yağmura dayalı olarak yetiştirilen silajlık mısır, yonca ve arpa gibi yem bitkilerinin tükettiği devasa su kütlesi tamamen yeşil su ayak izini oluşturur. Üretimin yeşil suya bağımlılığı, sistemin meteorolojik kuraklıklara ve yağış rejimindeki anomalilere karşı ne kadar kırılğan olduğunun en temel göstergesidir.

Mavi su ayak izi, doğal yağışların bitki su tüketimini karşılamada yetersiz kaldığı durumlarda, tarımsal sulama sistemleri aracılığıyla veya doğrudan endüstriyel tesislerin proseslerinde kullanılmak üzere yüzey su kütlelerinden (nehirler, göller, tatlı su sulak alanları) veya yeraltı su kaynaklarından çekilerek tüketilen tatlı su hacmidir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Çekilen bu suyun, havzadan buharlaşarak, ürünün fiziksel bünyesine hapsolarak veya farklı bir hidrolojik havzaya veya zamana deşarj edilerek kaynağına geri dönmemesi durumu "net tüketim" olarak mavi su ayak izine yazılır (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Hayvancılık sektöründe ineklerin fizyolojik ihtiyaçları için doğrudan içtiği su, mandıralardaki soğutma ve temizlik operasyonları ile kurak bölgelerdeki yem bitkisi sulamaları mavi su kategorisindedir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Su ekosistemleri üzerindeki stres ve habitat yıkımı genellikle mavi suyun sürdürülemez seviyede aşırı kullanımıyla tetiklendiğinden, su optimizasyonunun sağlanması gereken ana odak noktası bu bileşendir.

Gri su ayak izi ise, hacimsel bir tüketim ölçütü olmaktan ziyade, çevresel bir kirlilik ölçütüdür (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Tarımsal veya endüstriyel üretim prosesleri sonucunda su kütlelerine deşarj edilen (veya sızan) organik ve inorganik kirletici yüklerin (örneğin; nitrat sızıntıları, fosforlu gübre akışları, ağır metaller, patojenler), o havzadaki suyun doğal arka plan konsantrasyonları ve kabul edilmiş yasal su kalitesi standartları göz önüne alınarak, seyrelme yoluyla zararsız sınır değerlere düşürülebilmesi için teorik olarak ihtiyaç duyulan tatlı su hacmini simgeler. Eğer bir deşarj noktasında birden fazla kirletici unsur bulunuyorsa,

hesaplama seyrelme için en yüksek tatlı su hacmini gerektiren baskın kirletici esas alınır (Hoekstra ve Chapagain, 2008).

## 2.1. Üretim Sistemlerinde Matematiksel Hesaplama Modelleri

Süt ve süt ürünleri gibi çoklu girdilerin çoklu çıktılara dönüştüğü endüstriyel üretim ağlarında, su ayak izinin matematiksel olarak modellenmesi iki spesifik yaklaşımla gerçekleştirilir (Hoekstra ve Chapagain, 2008).

1. Zincirleme Toplama Yaklaşımı (Chain-Summation Approach): Bu yöntem, en temel ve yalın su ayak izi hesaplama metodudur. Sadece tek bir homojen nihai ürün üreten izole üretim sistemlerinde uygulanabilir. Dolaylı su tüketimi farklı yan ürünlere dağıtılması gibi bir komplikasyon bulunmadığı için, sistemin tüm tedarik zincirindeki toplam su tüketimi tek bir ana ürüne yüklenir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Örneğin, sadece çiğ süt üreten satan bir çiftliğin ayak izi bu yolla hesaplanır.
2. Kademeli Biriktirme Yaklaşımı (Stepwise Accumulative Approach): Modern süt endüstrisi gibi, ana ham madde olan çiğ sütün krema, peynir, peynir altı suyu tozu, yoğurt ve tereyağı gibi çok sayıda farklı yan ürüne dönüştürüldüğü kompleks sistemlerde zorunlu olarak kullanılan yöntemdir. Burada analitik problem, ham sütün büyük ölçekli sanal su ayak izinin ve proses esnasında kullanılan taze suyun bu farklı çıktılara hangi rasyonel oranlarda dağıtılacağıdır. Literatürde bu dağıtım işlemi, çıktılarının maddi pazar değerlerine oranlanarak veya kütleli ağırlık fraksiyonları oranında yapılmaktadır, ancak ekonomik tahsisat (maddi değere oranlama) genellikle ürünlerin fayda yaratma kapasitelerini yansıttığı için daha fazla tercih edilir (Hoekstra ve Chapagain, 2008).

Bu çalışmada temel alınan matematiksel modelleme denklemleri aşağıda detaylandırılmıştır.

Nihai bir süt ürününün ( $p$ ) su ayak izi ( $WF_{prod}[p]$ ), sisteme giren her bir girdinin ( $i$ ) su ayak izi ( $WF_{prod}[i]$ ), girdinin ürüne dönüşüm yüzdesi ( $f_p[p, i]$ ) ve o özel ürün için proseste harcanan taze su miktarının ( $WF_{proc}[p]$ ) kütleli bölünmesiyle elde edilir:

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{i=1}^n (WF_{prod}[i] \times f_p[p, i]) + WF_{proc}[p]}{w[p]}$$

Kütleli verim oranı veya üretim yüzdesi olan  $f_p[p, i]$  parametresi, kullanılan girdi ürün kütlesi başına elde edilen nihai ürün kütlesini belirtir :

$$f_p[p, i] = \frac{w[p]}{w[i]}$$

Dağıtımın kütle yerine ürünlerin piyasadaki ekonomik yaratım değerine göre tahsis edilmesi

durumunda ise, her bir ürünün toplam değer havuzundaki yüzdesini gösteren  $f_v[p]$  parametresi kullanılır :

$$f_v[p] = \frac{\text{price}[p] \times w[p]}{\sum_{i=1}^z (\text{price}[i] \times w[i])}$$

Burada price[p], ilgili süt ürününün piyasadaki birim fiyatını temsil eder ve yüksek katma değerli ürünlerin (örneğin yıllanmış peynirler) düşük katma değerli yan ürünlere (örneğin peynir altı suyu) kıyasla su yükünden daha fazla pay almasını sağlayarak, ekonomik sürdürülebilirlik ile çevresel sürdürülebilirlik arasında analitik bir bağ kurar. Nihai olarak, bir litre sütün genel su ayak izi şu empirik denklem diziniyle toplanır:

$$WF_{(süt)} = WF_{(yem)} + WF_{(yem \text{ üretimi})} + WF_{(hayvancılık)} + WF_{(süt \text{ üretim prosesi})}$$

## 2.2. WFN ve LCA (ISO 14046) Metodolojileri Arasındaki Epistemolojik Ayrım

Araştırma bulgularının yorumlanmasında literatürü ikiye bölen en büyük bilimsel tartışma, elde edilen değerlerin hacimsel mi yoksa etki odaklı mı yorumlanacağıdır (Ridoutt ve Pfister, 2010).

Su Ayak İzi Ağı (WFN) tarafından geliştirilen hacimsel metodoloji, kullanılan yeşil, mavi ve gri suyun litre veya metreküp cinsinden mutlak hacimsel toplamını verir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). WFN mantalitesinde, Brezilya'nın tropikal yağmur ormanlarında doğal yağışla beslenen bir meradan gelen 1000 litre su ile Sahra altı Afrika'da fosil bir yeraltı akiferinden çekilen 1000 litre su, nihai ürünün etiketinde aynı "su kullanım hacmi" olarak matematiksel toplama katılır. Örneğin, WFN standartlarına göre yapılan ilk kaba değerlendirmelerde 1 kg süt tozu üretiminin su ayak izinin yaklaşık 5.000 Litre olduğu, 1 kg peynir üretiminin ise 5.000 Litre suya mal olduğu iddia edilmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Bu rakamlar gıda güvenliği ve uluslararası sanal su ticareti için kritik olsa da, çevresel tahribatın derecesini yansıtmadığı için yanıltıcı olabilmektedir (Ridoutt ve Pfister, 2010).

Bu duruma karşı çıkan Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) topluluğu ve Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nün (ISO 14046) metodolojisi (Pfister ve ark., 2009), su kullanımının miktarından çok, o kullanımın lokal çevrede yarattığı strese ve tahribata odaklanır. Özellikle Ridoutt ve Pfister (2010) tarafından literatüre kazandırılan "Stres Ağırlıklı Su Ayak İzi" yöntemine göre, normalize edilmemiş ham hacimsel veriler yanıltıcıdır ve stratejik karar vericilikleri yanlış yönlendirebilir. Ridoutt (2010), çekilen taze su hacmini, suyun çekildiği spesifik hidrolojik havzanın "Su Stresi İndeksi" (Water Stress Index - WSI) ile çarparak normalize eder ve sonucu "Su Eşdeğeri" (H<sub>2</sub>O<sub>e</sub>) cinsinden verir (Ridoutt ve ark., 2010). Örneğin, Avustralya'nın nispeten su stresi düşük bir bölgesi olan South Gippsland'daki modern mandıralarda üretilen tam yağlı sütün stres ağırlıklı su ayak izi 14.4 Litre H<sub>2</sub>O<sub>e</sub>/kg, yağsız süt

tozunun ayak izi ise sadece 15.8 Litre  $H_2O_e/kg$  olarak hesaplanmıştır (Ridoutt ve ark., 2010). WFN'nin iddia ettiği 5.000 Litrelik hacim ile LCA'nın hesapladığı 16 Litre eşdeğerlik değer arasındaki bu devasa uçurum; sütün büyük ölçüde doğal yağışlarla (yeşil su) beslenen meralardan gelmesi ve yerel ekosistemde tatlı su kıtlığına yol açacak bir tatlı su tükenmesi (freshwater depletion) yaratmamasından kaynaklanmaktadır (Ridoutt ve Pfister, 2010). Bu bağlamda araştırma, hem hacimsel gerçeklikleri hem de çevresel etki eşdeğerlerini birlikte okuyarak multidisipliner bir sentez yapmayı benimsemiştir.

### 3. FARKLI COĞRAFYA VE ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SÜTÜN SU AYAK İZİ

#### 3.1. Süt Üretiminde Küresel Su Ayak İzi Varyasyonları

Dünya genelinde süt sektörü su ayak izi hesaplamaları, coğrafyaların hidro-klimatik koşullarına, benimsenen hayvancılık kültürüne (mera tabanlı vs. entegre kapalı sistem) ve uygulanan spesifik hesaplama metodolojilerine göre çeşitli varyasyonlar göstermektedir. Uluslararası Sütçülük Federasyonu'nun (IDF) Su Ayak İzi Grubu tarafından hazırlanan ve 10 farklı ülkeyi kapsayan temel durum raporlarında netleşen en önemli bulgu; sektördeki en yüksek mavi su ayak izi rekorlarının, yağış rejiminin yetersiz olduğu, buna mukabil yüksek verimli süt sığırı rasyonlarını desteklemek amacıyla endüstriyel yem üretimi (örneğin silajlık mısır, yonca) için yoğun tarımsal sulamanın yapıldığı yüksek su stresine sahip bölgelerde ortaya çıkmasıdır (Mekonnen ve Hoekstra, 2012).

Küresel literatürde farklı coğrafyaların su tüketim profillerini karşılaştıran araştırmaların bulguları şu şekilde özetlenebilir:

Yeni Zelanda'da Yağış ve Sulama İkilemi: Süt ürünleri ihracatında dünya devi olan Yeni Zelanda'da, iki farklı hidrolojik karakteristiğe sahip bölge (Waikato ve Canterbury) üzerinde yapılan vaka çalışması, metodolojik farklılıkların etkisini laboratuvar kesinliğinde ortaya koymaktadır.<sup>3</sup> Bol yağış alan ve sulama gerektirmeyen Waikato bölgesinde üretilen sütün hacimsel WFN ayak izi 945 L/kg iken, kurak ve yeraltı sulamasına bağımlı Canterbury bölgesinde bu değer 1.084 L/kg olarak bulunmuştur. Ancak hesaplama Ridoutt'un stres ağırlıklı ( $H_2O_e$ ) metodolojisine dönüştürüldüğünde, Waikato'nun su stres ayak izi neredeyse sıfıra yaklaşarak 0.011 L  $H_2O_e/kg$ 'a düşmüş, yeraltı suyu kullanımının yüksek olduğu Canterbury'ninki ise artarak 7.1 L  $H_2O_e /kg$ 'a ulaşmıştır. (Zonderland-Thomassen ve Ledgard, 2012). Bu veriler, sadece hacimsel hesapların bölgesel ekolojik zararı gizleyebileceğini göstermektedir.

Çin'in Tedarik Zinciri ve Sanal Su İthalatı: Çin'in en büyük üretim havzalarından Heilongjiang'da yürütülen LCA analizinde, yerel olarak üretilen sütün su kullanılabilirliği ayak

izi 11 L H<sub>2</sub>O<sub>e</sub>/kg olarak ölçülmüştür (Ridoutt ve ark., 2010). Araştırmanın küresel emtia ticareti açısından çarpıcı olan kısmı ithalat kıyaslamalarıdır. Su stresi altında ezilen Kaliforniya'dan ithal edilen süt ürünlerinin stres ayak izi 461 L H<sub>2</sub>O<sub>e</sub>/kg gibi olağanüstü bir rakama çıkarken, Yeni Zelanda'dan ithal edilenlerin izi sadece 0.01 L H<sub>2</sub>O<sub>e</sub>/kg seviyesinde kalmıştır. Bu bulgular, küresel gıda endüstrisinde süt tedarikinin coğrafi olarak Kaliforniya'dan Heilongjiang veya Yeni Zelanda gibi daha uygun yağış rejimlerine kaydırılmasının, dünya genelindeki tatlı su tükenmesini (freshwater depletion) dramatik ölçüde yavaşlatabileceğini kantitatif olarak doğrulamaktadır (Ridoutt ve ark., 2010).

Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Verimlilik Kayıpları: Güney Afrika üzerine WFN metodolojisi ile Owusu-Sekyere ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan periyodik çalışmada, seçilen tüm süt ürünlerinin su ayak izi değerlerinin küresel ortalamaların belirgin şekilde üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, gelişmekte olan ülkelerde tarımsal ve hidrolojik verimliliğin (örneğin; hayvan başına düşük laktasyon verimi, su iletim hatlarındaki kayıp-kaçaklar ve ilkel sulama teknikleri) su kullanımını logaritmik olarak artırdığını göstermektedir. Benzer şekilde Souissi ve ekibinin (2019) Tunus'ta gerçekleştirdiği tüketim profili analizi, değişen beslenme alışkanlıklarıyla artan hayvansal protein tüketiminin, kısıtlı tatlı su rezervine sahip ülkenin su ayak izini hem hacimsel hem de bölgesel stres bağlamında sürdürülemez boyutlara taşıdığını belgelemiştir.

İspanya'da Doğrudan Endüstriyel Tüketim: Değer zincirinin endüstriyel fazını incelemek amacıyla İspanya'daki La Fageda süt ve yoğurt fabrikasında yürütülen LCA çalışması, 1 kg yoğurt üretimi için tesis içinde 204 litre taze su proses suyu olarak tüketildiğini bulmuştur. Tesisin doğrudan çevresel etkileri analiz edildiğinde, bu suyun tam %70'inin yerinde temizlik ve hijyen operasyonlarında harcandığı, soğutma, pastörizasyon ve paketleme süreçlerinin ise tesis enerjisinin %70'ini tükettiği saptanmıştır.

Organik ve Konvansiyonel Tarım Verim Karşılaştırması: Palhares ve Pezzopane (2015) tarafından yürütülen çalışma, organik tarımın her koşulda çevresel olarak üstün olduğu yönündeki kanıtları sarsan bulgular sunmuştur. Fosfor deşarjı baz alınarak yapılan hesaplamalarda, organik süt üretim sistemlerinin su ayak izi, konvansiyonel sistemlere kıyasla 1.9 kat daha yüksek bulunmuştur. Organik hayvan besleme protokollerindeki düşük tarımsal rekolte, aynı miktar sütün üretilebilmesi için çok daha geniş arazi alanlarına, dolayısıyla logaritmik olarak daha fazla yeşil ve mavi su tüketimine neden olmaktadır.

### 3.2. Türkiye Süt Değer Zincirinde Su Ayak İzi

Türkiye, ulusal ve bölgesel beslenme güvenliğinde hayati önem taşıyan yıllık yaklaşık 21

milyon tonluk çiğ inek sütü üretimiyle majör bir tarımsal aktördür.<sup>1</sup> Araştırma verileri, bu üretim kapasitesini sürdürebilmek için tüm ulusal süt değer zincirinin yılda yaklaşık 16.5 ila 18 kilometreküp km<sup>3</sup> tatlı su tükettiğini göstermektedir (Batan, 2021). Türkiye'nin kullanılabilir toplam tatlı su potansiyelinin 112 milyar m<sup>3</sup> olduğu ve tarımsal tüketimin bu rezervler üzerindeki ağırlığı düşünüldüğünde, sadece süt sektörü kaynaklı yeşil ve mavi su kullanımının Türkiye'nin yıllık yağış miktarının %3 ila %4'üne denk bir paya sahiptir. (Anonim, 2019)

Süt endüstrisinde kullanılan bu miktardaki suyun sektörel kırılımları literatürle tam bir uyum içindedir. Türkiye sütçülük sektöründeki toplam su payının %98'i, rasyon bileşenlerini oluşturan yonca, mısır, buğday, pamuk tohumu, küspe ve arpa gibi yem hammaddelerinin tarımsal arazilerde üretilmesi aşamasında harcanmaktadır. İşletme içi doğrudan fizyolojik su kullanımı (örneğin Mekonnen ve Hoekstra'nın verilerine göre inek başına içme suyu olarak günlük 55 litre ve barınak temizliği için 13.5 litre kullanımı) ve endüstriyel mandıra operasyonları (pastörizasyon, temizlik) ise toplam ayak izinin yalnızca kalan %2'lik kısmını oluşturmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2012; Batan, 2021).

Aşağıdaki Tablo 1'de, Türkiye'de üretilen temel süt ürünlerinin WFN (Water Footprint Network - Su Ayak İzi Ağı) metodolojisi ile elde edilmiş hacimsel su ayak izi verileri ile küresel referans değerlerini göstermektedir.

**Tablo 1.** Türkiye'de süt ürünlerine ait hacimsel su ayak izi verileri

Nihai Ürün Tipi	Türkiye'deki Ortalama Su Ayak İzi (Litre)	Referans Değerler ve Kapsam
Çiğ İnek Sütü (1 Litre)	806 Litre	Küresel Ortalama: 1.000 Litre
Yoğurt (1 kg)	1.080 Litre	Türkiye Ortalaması (2018 Verileri)
Beyaz Peynir (1 kg)	2.300 Litre	Türkiye Ortalaması (2018 Verileri)
Tereyağı (1 kg)	4.850 Litre	Türkiye Ortalaması (2018 Verileri)
<i>Dana Eti (1 kg)</i>	<i>~15.000 Litre</i>	<i>Hayvansal Kıyaslama Amacıyla (Küresel)</i>

\* Çiğ İnek Sütü (1 Litre): 806 Litre (Batan, 2021)

\* Yoğurt (1 kg): 1.080 Litre (Batan, 2021)

\* Beyaz Peynir (1 kg): 2.300 Litre (Batan, 2021)

\* Tereyağı (1 kg): 4.850 Litre (Batan, 2021)

Türkiye'de 1 litre inek sütü üretmek için tüketilen ortalama 806 litrelik hacmin bileşenleri incelendiğinde, bu miktarın yaklaşık %82'sinin yeşil su ayak izi (doğrudan yağışın toprak nemine dönüşerek bitkilerce kullanılması) ve %18'inin mavi su ayak izi (kurak dönemlerde yüzey ve yeraltı kaynaklarından çekilen sulama suyu) olduğu saptanmıştır (Batan, 2021). 806 litrelik bu değer, 1.000 litre olan dünya ortalamasının altında yer alarak, ilk bakışta Türkiye'nin birim üretim başına su verimliliğinde görece pozitif bir performans sergilediğini göstermektedir.

Ancak, makroekonomik tedarik zinciri haritası incelendiğinde, sektörün bölgesel hidrolojik risklere karşı son derece kırılgan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Türkiye süt sektöründeki su kullanımının önemli bir kısmı yaklaşık üçte, dokuz ilin (İzmir, Konya, Erzurum, Balıkesir, Diyarbakır, Aydın, Denizli, Kars ve Şanlıurfa) su kaynaklarına dayanmaktadır. Bu durum, bahsedilen illerin, sektörün su güvenliği açısından ne kadar hayati olduğunu göstermektedir. Tüm tedarik yükünün en üst noktasında ise sırasıyla %6.3'lük pay ile İzmir ve %6.2'lik pay ile Konya illeri bulunmaktadır. Bu iller sadece birer süt fabrikası merkezi değil, aynı zamanda o sütün üretilebilmesi için gereken su yoğun bitkisel tarımın da yapıldığı hidrolojik havzalarlardır. Batan'ın (2021) Şanlıurfa örneğinde yaptığı çalışmanın bulguları bu tezi doğrulamaktadır. Bölgedeki toplam tarımsal su ayak izinin büyük çoğunluğu pamuk, mısır ve buğday (temel yem bileşenleri) üretimine gitmekte, hayvancılığın doğrudan fiziksel su ayak izi ise sadece %7 seviyelerinde kalmaktadır.

#### **4. SÜT ÜRETİMİNDE ÇEVRESEL RİSKLER VE YÖNETİMSEL ZORLUKLAR**

##### **4.1. Hacimsel Su Ayak İzinden Etki Odaklı Yönetime Geçiş: Bölgesel Hassasiyetlerin Önemi**

Bulgular bölümünde detaylandırılan WFN ve LCA (ISO 14046) hesaplama sonuçları arasındaki metodolojik farklar, tarımsal su politikalarının oluşturulması sürecinde tartışmaları beraberinde getirmektedir. Türkiye örneğinde elde edilen 806 L/kg'lık değer, küresel ortalamanın (1000 L/kg) altında kalsa da yalnızca hacimsel bir göstergedir. Ridoutt ve Pfister'in (2010) belirttiği üzere; eğer bu tüketimin mavi su kısmı Konya gibi su stresi kritik seviyede olan bir kapalı havzadan karşılanıyorsa, üretimin yaratacağı çevresel baskı, su kaynakları zengin olan Karadeniz meralarına kıyasla ekolojik açıdan çok daha yüksek bir risk taşımaktadır. Bu bağlamda, söz konusu bulgular, stratejik karar alma mekanizmaları için kritik bir referans noktası teşkil etmektedir. Sadece ürün etiketlerindeki litre verileri üzerinden değil, bölgenin hidrolojik kapasitesini ve hassasiyetini esas alan LCA tabanlı düzenlemeler yapmaları bilimsel

bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

#### **4.2. Gizli Çevresel Tehlike: Gri Su Ayak İzi ve Nitrat Deşarjı**

Araştırmada dikkati çeken ve genellikle metodolojik zorluklar nedeniyle süt endüstrisi raporlarında dışarıda bırakılan en tehlikeli unsur gri su ayak izidir (Hoekstra ve Chapagain, 2008). Canlı hayvan yönetimi ve entansif tarım, yüzey ve yeraltı kaynakları üzerinde muazzam bir kimyasal kirlilik baskısı meydana getirmektedir. Joy ve ekibinin (2022) Yeni Zelanda, Canterbury bölgesinde yürüttüğü araştırma, sektörün görünmez maliyetini açığa çıkarmıştır; yoğun süt sığırcılığı faaliyetleri sonucunda meradan ve gübreden toprağa sızan nitrat azotunun, yerel su kalitesi yasal standartlarına uygun hale gelene dek seyreltilmesi için, bir litre süt başına 433 litre-11.110 litre arasında ilave tatlı suya ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Bu değerler, mavi ve yeşil su ayak izi toplamlarının bile ciddi oranda üzerindedir. Türkiye gibi gübre yönetim altyapısının yetersiz olduğu ve tarımsal pestisit/nitrat akışlarının doğrudan nehir ağlarına karıştığı yarı kurak bölgelerde, süt üretiminin gerçek gri su ayak izinin hesaplanabilenden çok daha kritik boyutlarda olduğu öngörülmektedir. Eğer su kaynaklarında nitratin seyrelmesi için yeterli akış mevcut değilse, su ekosisteminde bozulma (ötröfikasyon), çevreye toksik etkiler ve insan sağlığına yönelik geri dönüşü zor sağlık sorunları tetiklenebilir.

#### **4.3. Organik Süt Üretimindeki Su Ayak İzi ve Verimlilik Çelişkisi**

Tartışılması gereken bir diğer kritik husus, Palhares ve Pezzopane (2015) tarafından bulgularanan organik süt üretiminin geleneksel sistemlerden daha yüksek su ayak izine sahip olması çelişkisidir. Organik tarım felsefesi, yapay kimyasalları reddederek doğal döngüleri korumayı hedefler; ancak hayvan besleme genetiğinde ve tarımsal arazide maksimum randımanın alınamaması (daha düşük laktasyon verimi ve dönüm başına daha az yem hasadı), sistemin "aynı birim kalori/protein" çıktısını elde etmek için doğadan çok daha geniş araziler ve çok daha fazla tatlı su kütlesi talep etmesine yol açmaktadır.

Su varlığının ve tarımsal arazinin kısıtlı olduğu havzalarda, toplumun yalnızca kimyasal kullanımına odaklanan 'organik tüketim' yönelimi, su döngüsü üzerinde beklenmedik bir baskı oluşturmaktadır. Organik sistemlerde sentetik girdi kullanılmaması ekolojik bir avantaj gibi görünse de, birim alandan alınan verimin düşük olması bu durumu tersine çevirmektedir. Meta-analiz çalışmaları, organik sistemlerin aynı miktar ürünü elde edebilmek için konvansiyonel sistemlere oranla %15 ile %40 arasında daha fazla arazi ve su talep ettiğini ortaya koymaktadır (Clark ve Tilman, 2017; Meier ve ark., 2015). Bu veriler doğrultusunda, su stresi yüksek bölgelerde 'organik' üretim modeline geçişin, bölgedeki su rezervlerini korumak bir yana, toplam su tüketimini artırarak mevcut su stresi riskini arttıracığı söylenebilir.

#### **4.4. Türkiye'de Süt Sektöründe Bölgesel Su Kırılmalığı: Kapalı Havza Riski ve Kentsel Kaynak Rekabet, Konya ve İzmir Analizi**

Türkiye süt sektörünün su güvenliğı, tamamen meteorolojik değışkenlere ve bölgesel yeraltı suyu dinamiklerine bağlanmış durumdadır. Yıllık yeşil su kullanımının Türkiye'nin toplam yıllık yağış miktarının %3'üne ulaşması, sektörün iklim değışikliğı kaynaklı kuraklık olaylarına karşı savunmasız olduğunu göstermektedir. Olası bir kuraklık (toprak nemi kaybı), yem bitkileri veriminde zincirleme bir kayba, arz kıtlığına ve sonuç olarak hammadde fiyat artışına yol açabilmektedir.

Bu kırılmalığın merkezi Konya'dır. Yılda bir milyon tondan fazla süt üreten Konya, jeolojik yapısı itibarıyla denizlere doğrudan deşarjı olmayan bir "kapalı su havzasıdır". Ülkenin buğdayının %25'i, şeker pancarının %35'i ve mısırının %8'inin üretildiğı bu bölgede, özellikle süt ineklerinin rasyonunda kritik önem taşıyan silajlık mısır gibi yüksek mavi su (sulama) gerektiren yazlık bitkilerin kontrolsüzce ekilmesi, yeraltı suyu rezervlerinin yenilenme kapasitesinin çok ötesinde çekilmesine yol açmaktadır (Batan, 2021). Bu durum, taban su yüksekliğinin gün geçtikçe düşmesine ve obruk gibi jeolojik deformasyonların artmasına neden olarak, tarımsal sürdürülebilirliğı fiziki olarak tehdit etme ve engellemektedir.

Türkiye'nin en önemli süt üretim bölgelerinden biri olan İzmir, su ve arazi kullanımını açısından farklı sektörlerin birbiriyle yarıştığı zorlu bir süreçten geçmektedir. Nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük ili olan İzmir'de artan sığır çiftlikleri, yem ekim arazileri ve büyük süt işleme fabrikaları, doğrudan hızla artan kentsel nüfusun içme suyu ve ağır sanayinin kullanım suyu talepleriyle rekabet etmektedir. Yeraltı sularının sürdürülemez aşırı çekimi, kıyı şeritlerinde deniz suyunun tatlı su kaynaklarına sızması riskini doğurmakta, bu da yerel suyun kalitesini düşürerek, hem insan hem de hayvan sağlığı için ciddi gri su ayak izi maliyetleri oluşturmaktadır.

#### **5. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Tarım politikalarında sadece üretim rakamlarına odaklanmak yerine, ekolojik sınırları da gözetmek gerektiğı bilimsel bir gerçeklik haline gelmiştir. Sütün su ayak izi kavramı, sütün yalnızca bir gıda kaynağı değıl, aynı zamanda paketlenmiş ve sanayileşmiş büyük bir sanal su kaynağı olduğu gerçeğini akademik camianın ve stratejik karar vericilerin dikkatine sunmaktadır. Bu yaklaşım; hayvancılık politikalarının sadece üretim odaklı değıl, aynı zamanda su güvenliğı ekseninde şekillenmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Makale boyunca sunulan analizler; WFN'nin hacimsel hesaplamalarıyla üretimdeki yüksek fiziksel su ihtiyacını belirginleştirdiğini, LCA ve ISO 14046 tabanlı stres yaklaşımlarının ise bu tüketimin bölgesel

havzalarda ne boyutta bir ekolojik etkiye yol açtığını net bir şekilde vurgulamaktadır.

Türkiye örneğinde tespit edilen 1 litre süt başına 806 litrelik su ayak izi, küresel ortalamalara kıyasla görünürde pozitif bir üretim performansı yansıtırsa da; bu sanal su ticaretinin Konya gibi yeraltı suları tükenme noktasında olan kapalı havzalar üzerine inşası ve bitki üretim planlamasındaki stratejik hatalar, mevcut sektörel süt üretim sisteminin uzun vadede sürdürülebilir olamayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, Yeni Zelanda bulgularında olduğu gibi, henüz Türkiye'de tam manasıyla ölçülmemeyen nitrat kaynaklı gri su kirliliği, yeraltı su rezervleri için geri dönüşü zor bir kirlilik yükü oluşturmaktadır. Bu durum, sadece bugünkü üretimin değil, gelecekteki su ve gıda güvenliğinin de ekolojik bir risk altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda, iklim değişikliğinin baskısı altındaki Türkiye süt sektörünün su kaynakları karşısındaki kırılganlığını en aza indirmek ve uzun vadeli adaptasyon kapasitesini güçlendirmek amacıyla; bilgi paylaşımı, teknolojik altyapı modernizasyonu ve sahada yerinde uygulama eksenleri doğrultusunda, aşağıdaki yapısal stratejilerin hayata geçirilmesi stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmelidir.

**Tarımsal Sulama ve Rasyon Optimizasyonu:** Sektörün toplam su yükünün %98 gibi büyük bir kısmını oluşturan tarımsal üretim safhasında, su verimliliğini artıracak köklü dönüşümler önceliklendirilmelidir. Bu kapsamda, özellikle yonca ve silajlık mısır gibi yüksek su talebi olan yem bitkilerinin üretiminde; su kaynaklarını tüketen geleneksel yöntemlerden uzaklaşarak, modern damla sulama altyapılarının yaygınlaştırılması stratejik bir hedef olarak benimsenmelidir.

Su yönetiminde daha dirençli bir yapı oluşturmak adına; bitkilerin kritik olmayan gelişim evrelerinde kontrollü su stresine dayanan "Kısıntılı Sulama" (Deficit Irrigation) tekniklerinin teşvik edilmesi, su tasarrufu ile verim dengesini optimize eden bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, hayvansal üretimde rasyon formülasyonlarının; yüksek mavi su ihtiyacı olan bitkiler yerine, kuraklığa dayanıklı, derin kök yapısına sahip ve su ayak izi düşük alternatif kaba yemlerle yeniden yapılandırılması, havza bazlı su güvenliği açısından kritik bir çözüm önerisi olarak değerlendirilmelidir.

**Küresel Sanal Su Ticaretinin Kullanımı:** Şiddetli kuraklık dönemlerinde veya hidrolojik rezerve zarar veren bölgelerde, yerel mavi su stoklarını tüketerek yem üretmek yerine, su kaynakları nispeten zengin ve hidrolojik stresin yaşanmadığı coğrafyalardan yem hammaddesi ithal edilmesi (sanal su ithalatı), stratejik bir tatlı su koruma politikası olarak değerlendirilmelidir (Hoekstra ve Chapagain, 2008).

Teknolojik Entegrasyon ve Endüstriyel Geri Kazanım: Nesnelerin İnterneti (IoT), uydu bazlı toprak nem ölçüm sensörleri ve yapay zeka destekli buharlaşma modellerini kullanan "Akıllı Tarım Teknolojileri", çiftçi seviyesinde yaygınlaştırılarak bitki bazlı hassas sulama yönetimine geçilmelidir. Süt işletmesi düzeyinde ise, fabrika içi su kullanımını doğrudan etkileyen temizlik, pastörizasyon ve soğutma sistemlerindeki atık sular, membran ve ters osmoz teknolojileriyle geri kazanılarak kapalı döngü tesis ideallerine yaklaşılmalıdır (Batan, 2021).

Ekonomik Kalkanlar: Tarımsal üreticilerin iklim değişikliğinin getirdiği düzensiz yağış ve kuraklık anomalilerine karşı finansal olarak korunması için hava durumu endeksli sigorta sistemleri devreye alınmalıdır.

Kayıp ve İsrafın Önlenmesi: Tarladan sofraya kadar uzanan tedarik zinciri boyunca meydana gelen fire, bozulma ve nihai gıda israfları; yalnızca ürün kaybı değil, aynı zamanda bu ürünlerin üretiminde tüketilen yüksek miktardaki yeşil ve mavi sanal suyun da geri dönüşümsüz olarak yitirilmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının dolaylı korunması adına gıda muhafaza sistemleri ile lojistik süreçlerin iyileştirilmesi ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi stratejik bir öncelik olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, hayvancılık sektöründe sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde üretim hacminden ziyade kaynak kullanım etkinliğinin temel belirleyici olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın bulguları, sınırlı su kaynaklarının yüksek besin değerine sahip hayvansal ürünlere dönüştürülmesinin ve bu süreçte çevresel yükün minimize edilmesinin yirmi birinci yüzyıl hayvansal üretim yaklaşımının temel unsurlarından biri olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda süt sektörünün gelecekteki rekabet gücü ve üretim sistemlerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği, havza bazlı su kısıtlarının dikkate alındığı ve veri temelli yönetim stratejilerinin üretim süreçlerine entegre edildiği bütüncül bir planlama anlayışına bağlıdır. Böyle bir dönüşüm yalnızca üretim sistemlerinin verimliliğini artırmakla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayarak ekolojik dengenin sürdürülmesi ve ulusal gıda güvenliğinin güvence altına alınması açısından da stratejik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yönüyle çalışma, hayvansal üretimde su ayak izi ve kaynak kullanım etkinliği konularında yürütülecek gelecekteki araştırmalar için önemli bir referans niteliği taşımakta ve sürdürülebilir üretim politikalarının geliştirilmesine katkı sağlayabilecek bir çerçeve sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

Anonim. (2009). *Su ve DSİ*. DSİ Yayınları.

Batan, M. (2021). *Türkiye’de süt ve süt ürünlerinin su ayak izi analizi*

Clark, M., & Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural

- production systems, efficiency, and consumption. *Environmental Research Letters*, 12(4), Makale 043001.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2008). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. Blackwell Publishing.
- Joy, M. K., vd. (2022). The grey water footprint of milk production in New Zealand: A case study of the Canterbury region.
- Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products - Are the differences captured by life cycle assessment? *Journal of Environmental Management*, 149, 193-208.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415.
- Owusu-Sekyere, E., Scheepers, M. E., & Jordaan, H. (2016). Water footprint of milk produced and processed in South Africa: Implications for policy-makers and stakeholders along the dairy value chain. *Water*, 8(8), 322.
- Palhares, J. C. P., & Pezzopane, J. R. M. (2015). Water footprint of dairy systems: Efficiencies and limitations. *Journal of Cleaner Production*, 101, 116-125.
- Pfister, S., Koehler, A., & Hellweg, S. (2009). Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science & Technology*, 43(11), 4098-4104.
- Ridoutt, B. G., & Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change*, 20(1), 113-120.
- Ridoutt, B. G., Sanguansri, P., Freer, M., & Harper, G. S. (2010). *Water footprint of livestock products: Responding to consumer needs for product environmental footprinting*.
- Souissi, A., vd. (2019). Water footprint of milk production in Tunisia.
- Zonderland-Thomassen, M. A., & Ledgard, S. F. (2012). Softening the water footprint: Implications of adopting a case study specific water stress index and a different water footprinting method. *Journal of Cleaner Production*, 28, 48-56.

## PRIMARY MEADOWS AND THEIR IMPORTANCE IN LIVESTOCK PRODUCTION

**Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ**

Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia

**ORCID ID:** 0000-0003-4751-6760

### ÖZET

Meadow vegetation in Serbia occupies about 27% of the total agricultural area of the country as the most common type of agroecosystem. They are used in a traditional way, either by mowing or grazing, and represent plant communities that are extremely species-rich, i.e. they show great functional diversity. However, due to various negative impacts, primarily the abandonment of grasslands on the one hand, and excessive fertilization (eutrophication) on the other, very rapid changes occur in their composition and structure, as well as significant threats to biodiversity. Primary meadows arose as the original form of vegetation in a habitat and are not subject to succession, because they represent climax vegetation for that area, usually unsuitable for forest development, while secondary meadows arise under the influence of anthropogenic factors. In Serbia, primary meadows develop in those ecological conditions in which forests cannot develop, either due to low annual temperatures (above the upper forest limit in high mountain areas), or due to high summer temperatures and a long dry period (in the Pannonian Plain in northern Serbia - steppe vegetation). Meadows and pastures are carriers of exceptional biodiversity of various plant groups. It should be noted that populations of forage plants spread on natural grasslands have great value as genetic resources, of which the following are particularly important: *Alopecurus pratensis*, *Arrhenatherum elatius*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Poa pratensis*, *Lotus corniculatus*, *Trifolium* sp. and others. In addition to the enormous wealth of wild forage flora, grasslands are the most important source of wild relatives of cultivated plants, which are of invaluable importance in breeding - improving existing ones and creating new varieties, as donors of genes for resistance to diseases, pests, lodging, stressful environmental conditions, etc. All this contributes to the successful use of these areas for grazing, primarily by ruminants, as well as obtaining high-quality nutrients after mowing these areas.

**Anahtar kelimeler:** pasture, primary meadows, livestock production

## BEDEN EĞİTİMİ ÖĞRETMENLERİNDE FİZİKSEL AKTİVİTE DÜZEYİ İLE MESLEKİ TÜKENMİŞLİK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ: GAZİANTEP İLİ ÖRNEĞİ

**Tuna Doğan KILINÇ**

Berrin Topçuoğlu Anatolian High School, Physical Education, 27000 Şehitkamil, Gaziantep

**ORCID ID:** 0009-0005-0060-9734

**Prof. Dr. Bekir MENDEŞ**

Gaziantep University, Department of Sports Sciences, 27000 Şehitkamil, Gaziantep

**ORCID ID:** 0000-0002-3038-9905

### ÖZET

**Amaç:** Bu araştırmanın amacı, Gaziantep ilinde görev yapan beden eğitimi öğretmenlerinin fiziksel aktivite düzeyleri ile mesleki tükenmişlik düzeyleri arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Mesleki tükenmişlik, öğretmenlerin iş doyumunu ve motivasyonunu etkileyen önemli bir faktördür.

**Yöntem:** Araştırma kesitsel desenle yürütülmüş olup, Gaziantep'te görev yapan 279 beden eğitimi öğretmeni örneklem olarak seçilmiştir. Katılımcıların fiziksel aktivite düzeyleri IPAQ kısa formu ile, mesleki tükenmişlik düzeyleri ise Maslach Tükenmişlik Envanteri ile değerlendirilmiştir. Veriler Jamovi programı kullanılarak analiz edilmiş, korelasyon ve bağımsız örneklem t-testleri ile ilişkiler incelenmiştir.

**Bulgular:** Katılımcıların yaş ortalaması  $36.6 \pm 8.61$  yıl, hizmet yılı ortalaması  $11.0 \pm 8.49$  yıl olarak bulunmuştur. Fiziksel aktivite düzeyi ile duygusal tükenmişlik arasında negatif, kişisel başarı ile pozitif yönde anlamlı ilişkiler saptanmıştır ( $p < 0,05$ ). Daha yüksek fiziksel aktiviteye sahip öğretmenlerin tükenmişlik düzeylerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Cinsiyet ve hizmet yılı değişkenlerinin tükenmişlik üzerinde etkileri de incelenmiş, bazı farklılıklar belirlenmiştir.

**Sonuç:** Araştırma sonuçları, düzenli fiziksel aktivitenin beden eğitimi öğretmenlerinde mesleki tükenmişlik riskini azaltmada etkili olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, öğretmenlerin sağlığını ve mesleki motivasyonunu artıracak programların geliştirilmesine ışık tutmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Beden Eğitimi Öğretmeni, Fiziksel Aktivite, Mesleki Tükenmişlik

### PHYSICAL ACTIVITY LEVEL AND PROFESSIONAL BURNOUT AMONG PHYSICAL EDUCATION TEACHERS: THE CASE OF GAZİANTEP PROVINCE ABSTRACT

**Aim:** The aim of this study is to examine the relationship between physical activity levels and professional burnout among physical education teachers working in Gaziantep Province. Professional burnout is an important factor affecting teachers' job satisfaction and motivation.

**Method:** This cross-sectional study included 279 physical education teachers working in Gaziantep. Participants' physical activity levels were assessed using the short form of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), and professional burnout levels were measured with the Maslach Burnout Inventory. Data were analyzed using Jamovi software, and correlation analyses as well as independent sample t-tests were performed to evaluate the relationships.

**Results:** The mean age of participants was  $36.6 \pm 8.61$  years, and the mean years of service was  $11.0 \pm 8.49$  years. A negative correlation was found between physical activity level and emotional exhaustion, while a positive correlation was observed with personal accomplishment ( $p < 0.05$ ). Teachers with higher levels of physical activity exhibited lower burnout levels. The effects of gender and years of service on burnout were also examined, revealing some significant differences.

**Conclusion:** The results indicate that regular physical activity is effective in reducing the risk of professional burnout among physical education teachers. These findings can guide the development of programs aimed at improving teachers' health and enhancing their professional motivation.

**Keywords:** Physical Education Teacher, Physical Activity, Professional Burnout

## 1. INTRODUCTION

Occupational burnout is a psychological syndrome that emerges as a prolonged response to chronic interpersonal stressors on the job and is characterized by emotional exhaustion, depersonalization, and reduced personal accomplishment (Christina Maslach & Jackson, 1981). Burnout is particularly common among professions that require continuous interaction with people, such as teaching (Wilmar Schaufeli, Leiter, & Maslach, 2009). In this context, teachers are considered one of the high-risk occupational groups in terms of burnout.

Physical education teachers face unique challenges due to the nature of their profession, which includes both physical and psychological demands. Factors such as workload, institutional expectations, student behavior, and limited resources may contribute to increased stress levels and burnout (Michael P. Leiter & Maslach, 2005).

Physical activity, on the other hand, is widely recognized as an important factor in maintaining both physical and mental health. Regular physical activity has been shown to reduce stress, improve mood, and enhance overall well-being (Kenneth R. Fox, 1999). In recent years, there has been growing interest in examining the relationship between physical activity and psychological outcomes such as burnout.

Several studies have reported that higher levels of physical activity are associated with lower levels of burnout (Stuart J. H. Biddle & Asare, 2011). Engaging in regular physical activity may help individuals cope with stress more effectively and improve their psychological resilience. Therefore, physical activity can be considered a protective factor against occupational burnout. Despite the increasing number of studies on this topic, research focusing specifically on physical education teachers remains limited. Considering that these individuals are expected to promote physical activity, examining their own activity levels and burnout status is of particular importance.

Therefore, the aim of this study is to examine the relationship between physical activity levels and occupational burnout among physical education teachers working in Gaziantep, Türkiye.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1. Research Design**

This study was designed as a correlational research model to examine the relationship between physical activity levels and occupational burnout among physical education teachers. The correlational design allows for the investigation of the direction and strength of relationships between variables.

### **2.2. Participants**

The study group consisted of physical education teachers working in Gaziantep, Türkiye. Participants were selected using a convenience sampling method. A total of **279 teachers** voluntarily participated in the study.

### **2.3. Data Collection Tools**

#### **International Physical Activity Questionnaire (IPAQ)**

Physical activity levels of the participants were assessed using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) developed by International Physical Activity Questionnaire. The IPAQ evaluates individuals' physical activity levels in terms of frequency, duration, and intensity, and results are expressed in MET-minutes per week.

#### **Maslach Burnout Inventory (MBI)**

Occupational burnout was measured using the Maslach Burnout Inventory developed by Christina Maslach and Susan E. Jackson (1981). The inventory consists of three sub-dimensions:

- Emotional Exhaustion (9 items)
- Depersonalization (5 items)
- Personal Accomplishment (8 items)

Higher scores in emotional exhaustion and depersonalization indicate higher burnout, whereas higher scores in personal accomplishment indicate lower burnout.

**2.4. Data Analysis**

The data were analyzed using statistical software. Descriptive statistics (mean, standard deviation) were calculated to determine participants’ physical activity and burnout levels. Pearson correlation analysis was conducted to examine the relationships between physical activity and burnout sub-dimensions.

Statistical significance levels were set at **p < .05** and **p < .01**.

**2.5. Reliability Analysis**

The internal consistency of the burnout scale was evaluated using Cronbach’s alpha coefficients. The results indicated high reliability for all sub-dimensions: emotional exhaustion ( $\alpha = 0.939$ ), depersonalization ( $\alpha = 0.876$ ), and personal accomplishment ( $\alpha = 0.928$ ).

**3. RESULTS AND DISCUSSION**

The relationships between physical activity levels and burnout sub-dimensions were examined using Pearson correlation analysis. The results are presented in Table 1.

**Table 1. Correlation Analysis Between Physical Activity and Burnout Sub-Dimensions**

<b>Variables</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1. Physical Activity	1	-	-	-
2. Emotional Exhaustion	-0.42**	1	-	-
3. Depersonalization	-0.36**	0.58**	1	-
4. Personal Accomplishment	0.29**	-0.51**	-0.44**	1

As shown in Table 1, there are statistically significant relationships between physical activity levels and burnout sub-dimensions.

A moderate and negative relationship was found between physical activity and emotional exhaustion ( $r = -0.42$ ,  $p < .01$ ), indicating that higher levels of physical activity are associated with lower levels of emotional exhaustion. Similarly, a negative and significant relationship was observed between physical activity and depersonalization ( $r = -0.36$ ,  $p < .01$ ). These findings suggest that increased physical activity may help reduce the core components of burnout.

In contrast, a positive and significant relationship was found between physical activity and personal accomplishment ( $r = 0.29$ ,  $p < .01$ ). This result indicates that individuals with higher physical activity levels tend to perceive themselves as more competent and successful in their professional roles.

These findings are consistent with previous studies. For example, regular physical activity has been shown to improve psychological well-being and reduce stress levels (Fox, 1999). Similarly, higher physical activity levels have been associated with lower burnout and better mental health outcomes (Biddle & Asare, 2011).

The relationships among burnout sub-dimensions also reveal important findings. Emotional exhaustion was positively correlated with depersonalization ( $r = 0.58, p < .01$ ), indicating that teachers who experience emotional exhaustion are more likely to develop depersonalization. This finding supports the burnout model proposed by Maslach and Jackson (1981), which suggests that emotional exhaustion is a central dimension of burnout.

Furthermore, personal accomplishment was negatively correlated with emotional exhaustion ( $r = -0.51, p < .01$ ) and depersonalization ( $r = -0.44, p < .01$ ). This indicates that as individuals feel more successful and competent, their burnout levels decrease.

Overall, the findings of this study suggest that physical activity plays a protective role against occupational burnout. Increasing physical activity levels may reduce emotional exhaustion and depersonalization while enhancing personal accomplishment among physical education teachers.

#### **4. Conclusions**

This study examined the relationship between physical activity levels and occupational burnout among physical education teachers. The findings revealed that physical activity is significantly associated with burnout sub-dimensions.

Specifically, higher levels of physical activity were found to be related to lower levels of emotional exhaustion and depersonalization, while positively associated with personal accomplishment. These results indicate that physical activity may play a protective role in reducing burnout among teachers.

In addition, significant relationships were observed among burnout sub-dimensions. Emotional exhaustion was positively related to depersonalization, whereas personal accomplishment was negatively associated with both emotional exhaustion and depersonalization. These findings support the multidimensional structure of burnout.

Based on these results, it can be suggested that promoting regular physical activity among physical education teachers may contribute to improving their psychological well-being and reducing burnout levels. Therefore, institutions should encourage participation in physical activity and support healthy lifestyle behaviors among teachers.

Future studies may focus on different sample groups and include experimental designs to better understand the causal relationship between physical activity and burnout.

## REFERENCES

- Biddle, S. J. H., & Asare, M. (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents: A review of reviews. *British Journal of Sports Medicine*, *45*(11), 886–895. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090185>
- Fox, K. R. (1999). The influence of physical activity on mental well-being. *Public Health Nutrition*, *2*(3a), 411–418. <https://doi.org/10.1017/S1368980099000567>
- Leiter, M. P., & Maslach, C. (2005). *Banishing burnout: Six strategies for improving your relationship with work*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of Occupational Behavior*, *2*(2), 99–113. <https://doi.org/10.1002/job.4030020205>
- Schaufeli, W. B., Leiter, M. P., & Maslach, C. (2009). Burnout: 35 years of research and practice. *Career Development International*, *14*(3), 204–220. <https://doi.org/10.1108/13620430910966406>

## İZOLE KRANIAL SINİR TUTULUMU VE PAPİL ÖDEM İLE PREZENTE OLAN NÖROBRUSELLOZ OLGUSU

**Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Güler**

Harran Üniversitesi Nöroloji ABD, Sanlıurfa, TÜRKİYE

ORCID ID:0000-0001-7331-2257

### Özet

Nörobruseloz, endemik bölgelerde farklı nörolojik bulgularla ortaya çıkabilen nadir ancak önemli bir enfeksiyondur. Bu yazıda, izole kranial sinir tutulumu ve papil ödem ile prezente olan bir nörobruseloz olgusu sunulmuştur. Otuz üç yaşında erkek hasta, beş gündür devam eden göz ağrısı ve çift görme şikâyetleri ile başvurdu. Nörolojik muayenede ekstremita kas gücü ve refleksler normal, meningeal irritasyon bulguları yoktu. Göz muayenesinde sola bakışta sol gözde dışa bakış kısıtlılığı saptandı. Pupiller refleksler doğal, renkli görme korunmuş ve relatif afferent pupil defekti izlenmedi. Fundoskopide sol gözde grade 3 papil ödemi saptandı ve optik koherens tomografi ile doğrulandı.

Kranial, orbital ve spinal manyetik rezonans görüntülemelerde patoloji izlenmedi. MR venografi normaldi. BOS incelemesinde  $350/\text{mm}^3$  lökosit, protein 183 mg/dL ve glukoz 25 mg/dL saptandı. BOS tüberküloz PCR negatifti. Brucella serolojisi pozitif (Coombs 1/320) bulundu.

Hasta nörobruseloz olarak değerlendirilerek seftriakson, rifampisin ve doksisisiklin tedavisi başlandı. İlk haftada diplopi geriledi ve göz hareketleri düzeldi. Üç aylık izlemde relaps saptanmadı.

Bu olgu, nörobruselozun izole kranial sinir tutulumu ve papil ödem ile prezente olabileceğini göstermektedir.,

**Anahtar Kelimeler:** Nörobruseloz, Abducens paralizisi, Papil ödemi, Diplopi

### NEUROBRUCellosIS PRESENTING WITH ISOLATED CRANIAL NERVE INVOLVEMENT AND PAPILLEDEMA: A CASE REPORT

#### Abstract

Neurobrucellosis is a rare but important infection that may present with diverse neurological manifestations in endemic regions. In this report, we present a case of neurobrucellosis presenting with isolated cranial nerve involvement and papilledema. A 33-year-old male patient was admitted with a five-day history of eye pain and diplopia. Neurological examination revealed normal muscle strength and reflexes, with no signs of meningeal irritation. Ocular examination demonstrated limitation of abduction in the left eye. Pupillary reflexes were normal, color vision was preserved, and no relative afferent pupillary defect was detected.

Fundoscopic examination revealed grade 3 papilledema in the left eye, which was confirmed by optical coherence tomography.

Cranial, orbital, and spinal magnetic resonance imaging showed no abnormalities. MR venography was normal. Cerebrospinal fluid (CSF) analysis revealed 350/mm<sup>3</sup> leukocytes, protein level of 183 mg/dL, and glucose level of 25 mg/dL. CSF tuberculosis PCR was negative. Brucella serology was positive (Coombs 1/320).

The patient was diagnosed with neurobrucellosis and treated with ceftriaxone, rifampicin, and doxycycline. Diplopia improved within the first week, and ocular movements returned to normal. No relapse was observed during the three-month follow-up.

This case highlights that neurobrucellosis may present with isolated cranial nerve involvement and papilledema.

**Keywords:** Neurobrucellosis, Abducens palsy, Papilledema, Diplopia

### Giriş

Bruselloz, özellikle Akdeniz ve Orta Doğu'da sık görülen zoonotik bir enfeksiyondür. Nörobruselloz, olguların yaklaşık %3–10'unda gelişmekte olup santral ve periferik sinir sistemini etkileyebilir. Klinik bulgular geniş bir spektrumda yer almakta ve menenjit, ensefalit, miyelit ve kranial sinir tutulumları ile prezente olabilmektedir.

Tanı süreci sıklıkla güçtür; klinik bulgular nonspesifik olabilir ve görüntüleme yöntemleri normal bulunabilir. Bu nedenle klinik değerlendirme, BOS analizi ve serolojik testlerin birlikte yorumlanması gereklidir.

### Olgu Sunumu

Otuz üç yaşında erkek hasta, beş gündür süren göz ağrısı ve diplopi ile başvurdu. Sistemik semptom tariflenmedi.

Nörolojik muayenede bilinç açık, motor ve refleks muayenesi normaldi. Sol gözde dışa bakış kısıtlılığı saptandı. Pupiller refleksler ve renkli görme normaldi. Fundoskopide sol gözde grade 3 papil ödem izlendi.

Kontrastlı kranial MR, orbital MR ve spinal görüntülemelerde patoloji saptanmadı. MR venografi normaldi. EEG, EMG ve VEP incelemeleri normaldi. Odyometri normal bulundu.

BOS incelemesinde 350/mm<sup>3</sup> lökosit, protein 183 mg/dL ve glukoz 25 mg/dL saptandı. BOS tüberküloz PCR negatifti. Kan biyokimyası, CRP ve sedimentasyon normaldi. Brucella serolojisi pozitif bulundu (Coombs 1/320).

Hasta nörobruselloz olarak değerlendirilerek seftriakson, rifampisin ve doksisisiklin tedavisi başlandı. Bir hafta içinde diplopi geriledi. Üç aylık takipte komplikasyon veya relaps izlenmedi.

## Tartışma

Nörobruselloz, değişken klinik prezentasyonu nedeniyle tanısal güçlük oluşturabilen bir enfeksiyondur. Klasik olarak meningoensefalit şeklinde görülmekle birlikte, izole kranial sinir tutulumu gibi atipik formlar da bildirilmektedir (1,2). Bu durum hastalığın heterojen doğasını göstermektedir.

Sunulan olguda abducens sinir paralizisi ve papil ödem birlikteliği nadir bir prezentasyon olup literatürle uyumludur. Görüntüleme yöntemlerinin normal olması tanıyı zorlaştıran önemli bir durumdur. Bazı çalışmalarda belirgin nörolojik bulgulara rağmen MR incelemelerinin normal olabileceği belirtilmiştir (3,4).

Ayrıcı tanıda nörotüberküloz önemlidir. Her iki hastalıkta benzer BOS bulguları görülebilse de, nörotüberkülozda sistemik bulgular ve görüntüleme anormallikleri daha belirgindir. Buna karşılık nörobrusellozda daha sinsi bir klinik seyir izlenebilir (5).

Papil ödem ve abducens paralizisi sıklıkla intrakraniyal basınç artışı ile ilişkilidir. Bununla birlikte nörobrusellozun intrakraniyal hipertansiyon benzeri tablolar ile de prezente olabileceği bildirilmiştir (6,7).

Nörobruselloz spinal kord tutulumu ile de ortaya çıkabilir ve transvers miyelit şeklinde prezente olabilir (2). Ayrıca bazı olgularda serolojik testlerin başlangıçta negatif olabileceği gösterilmiştir (3).

Nörobruselloz uzun dönem morbiditeye yol açabilir. Geniş serilerde bazı klinik faktörlerin kötü prognoz ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (8). Buna karşın erken tedavi iyi klinik sonuçlar ile ilişkilidir.

Son yıllarda BOS metabolomik çalışmaları hastalığın patofizyolojisini daha iyi anlamaya katkı sağlamaktadır (9).

## Sonuç

Nörobruselloz geniş klinik spektruma sahip olup izole kranial sinir tutulumu ve papil ödem gibi atipik bulgularla prezente olabilir. Normal görüntüleme bulguları tanıyı dışlamaz. BOS'ta düşük glukoz ve yüksek protein önemli tanısal ipuçlarıdır. Endemik bölgelerde bu tanı mutlaka akılda tutulmalıdır.

## Kaynaklar

- Khosravi A, Ahmadi F, Ramezani A. (2020). Demyelinating neurobrucellosis presenting with neuropsychiatric manifestations. *Case Reports in Neurological Medicine* 2020, 1–5.
- Algahtani H, Shirah B, Alassiri A. (2019). Acute transverse myelitis as an uncommon presentation of neurobrucellosis: a case report. *Case Reports in Infectious Diseases* 2019, 1–4.
- Zhang Y, Li X, Wang Q, et al. (2021). A rare case of neurobrucellosis with concurrence of depression, visual impairment, bilateral sensorineural hearing loss, and paraplegia. *Case Reports in Neurology* 13(2), 456–462.

- Skalski MR, Patel DB, White EA, et al. (2018). Imaging of spinal and central nervous system brucellosis: a review. *Clinical Imaging* 52, 215–221.
- Araj GF, Kanafani ZA, Azzam Z, et al. (2023). Brucella vs. tuberculous central nervous system infection in a tertiary medical center in Lebanon: a case series. *Journal of Infection in Developing Countries* 17(5), 712–719.
- Al-Sous MW, Bohlega S, Al-Kawi MZ, et al. (2016). Isolated intracranial hypertension in neurobrucellosis. *Journal of the Neurological Sciences* 362, 224–226.
- Gokhale S, Kulkarni A, Mahajan S. (2022). An unusual case of neurobrucellosis with intracranial hypertension and bilateral abducens nerve palsy. *Case Reports in Neurological Medicine* 2022, 1–6.
- Sharifi-Razavi A, et al. (2023). Neurobrucellosis: a retrospective cohort of 106 patients. *Clinical Infectious Diseases* 76(4), 654–662.
- Li H, Zhang J, Wang Y, et al. (2023). Potential biomarkers for neurobrucellosis diagnosis and treatment based on cerebrospinal fluid metabolomics analysis. *Frontiers in Neurology* 14, 1187654.

## ÇOCUKLARDA KABIZLIK: ETİYOLOJİ VE KLİNİK YAKLAŞIM

**Lect. Filiz TELSİZ**

<sup>1</sup>Öğretim Görevlisi, Gaziantep Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Cerrahisi, Gaziantep, Türkiye.

<sup>1</sup>ORCID ID: 0000-0003-1094-9765

### ÖZET

Kabızlık, çocukluk çağında en sık karşılaşılan gastrointestinal sorunlardan biri olup, poliklinik başvurularının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Olguların büyük çoğunluğu fonksiyonel kabızlık olmakla birlikte, az bir kısmında altta yatan organik nedenler bulunmaktadır. Etiyoloji yaşa göre farklılık göstermektedir. Yenidoğan döneminde Hirschsprung hastalığı, mekonyum ileus ve anorektal malformasyonlar ön planda iken; süt çocukluğu ve erken çocukluk döneminde fonksiyonel kabızlık, beslenme alışkanlıkları ve tuvalet eğitimi süreci ile ilişkilidir. Okul çağı ve adölesan dönemde ise düşük lifli diyet, yetersiz sıvı alımı ve psikososyal faktörler önemli rol oynamaktadır.

Klinik bulgular dışkılama sıklığında azalma, sert ve ağrılı dışkılama, fekal inkontinans ve karın ağrısı şeklinde ortaya çıkmaktadır. Uzun süreli kabızlık olgularında anal fissür, rektal dilatasyon ve fekal impaksiyon gelişebilir. Alarm bulguları arasında yenidoğan döneminde geç mekonyum çıkarma, kilo alamama, kusma ve abdominal distansiyon yer almakta olup, bu durumlar organik patolojileri düşündürmelidir.

Tanıda ayrıntılı anamnez ve fizik muayene çoğu zaman yeterlidir. Gereksiz ileri tetkiklerden kaçınılmalıdır. Ancak şüpheli durumlarda abdominal grafi, kontrastlı incelemeler ve anorektal manometri gibi yöntemler kullanılabilir. Hirschsprung hastalığı düşünülen olgularda rektal biyopsi tanı koydurucudur.

Tedavi yaklaşımında öncelikle eğitim ve davranış düzenlemesi önemlidir. Diyet düzenlenmesi, yeterli lif ve sıvı alımı sağlanmalı, düzenli tuvalet alışkanlığı kazandırılmalıdır. Farmakolojik tedavide osmotik laksatifler (özellikle polietilen glikol) sıklıkla kullanılmaktadır. Fekal impaksiyon varlığında deimpaksiyon tedavisi uygulanmalıdır. Organik neden saptanan olgularda ise cerrahi tedavi gerekebilir.

Sonuç olarak, çocukluk çağında kabızlık çoğunlukla fonksiyonel olmakla birlikte, organik nedenlerin dışlanması büyük önem taşımaktadır. Sistemik yaklaşım ve uygun tedavi ile hastaların yaşam kalitesi belirgin şekilde artırılabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Kabızlık; çocuk; fonksiyonel kabızlık; Hirschsprung hastalığı; fekal impaksiyon

## CONSTIPATION IN CHILDREN: ETIOLOGY AND CLINICAL APPROACH

### ABSTRACT

Constipation is one of the most common gastrointestinal problems in childhood and accounts for a significant proportion of outpatient visits. The majority of cases are functional constipation, while a small proportion is associated with underlying organic causes. The etiology varies according to age. In the neonatal period, Hirschsprung disease, meconium ileus, and anorectal malformations are prominent causes. In infancy and early childhood, functional constipation is often related to dietary habits and toilet training. In school-aged children and adolescents, low-fiber diet, inadequate fluid intake, and psychosocial factors play an important role.

Clinical manifestations include decreased frequency of defecation, hard and painful stools, fecal incontinence, and abdominal pain. Chronic constipation may lead to complications such as anal fissures, rectal dilatation, and fecal impaction. Alarm signs include delayed passage of meconium, failure to thrive, vomiting, and abdominal distension in the neonatal period, which may suggest an underlying organic pathology.

A detailed history and physical examination are usually sufficient for diagnosis, and unnecessary investigations should be avoided. However, in selected cases, abdominal radiography, contrast studies, and anorectal manometry may be used. Rectal biopsy is the gold standard for diagnosing Hirschsprung disease.

Management primarily involves education and behavioral modifications. Dietary regulation with adequate fiber and fluid intake and establishing regular toilet habits are essential. Osmotic laxatives, particularly polyethylene glycol, are commonly used in pharmacological treatment. Disimpaction therapy is required in cases of fecal impaction. Surgical intervention may be necessary in patients with organic causes.

In conclusion, although constipation in childhood is mostly functional, it is crucial to exclude organic etiologies. A systematic approach and appropriate management significantly improve patients' quality of life.

**Keywords:** Constipation; child; functional constipation; Hirschsprung disease; fecal impaction

## ÇOCUKLARDA TİROİD HASTALIKLARI: ETİYOLOJİ VE KLİNİK YAKLAŞIM

**Lect. Filiz TELSİZ**

<sup>1</sup>Öğretim Görevlisi, Gaziantep Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Cerrahisi, Gaziantep, Türkiye.

<sup>1</sup>ORCID ID: 0000-0003-1094-9765

### ÖZET

Çocukluk çağında tiroid hastalıkları, büyüme, gelişme ve metabolik düzen üzerinde önemli etkileri olan endokrin patolojiler arasında yer almaktadır. Bu hastalıklar konjenital ve edinsel nedenlere bağlı olarak ortaya çıkmakta olup, yaşa göre etiyolojik dağılım farklılık göstermektedir. Yenidoğan döneminde en sık görülen tiroid hastalığı konjenital hipotiroidi olup, erken tanı ve tedavi edilmediğinde kalıcı nörokognitif hasara yol açabilmektedir. Süt çocukluğu ve okul çağı döneminde otoimmün tiroiditler ön plana çıkarken, adölesan dönemde Hashimoto tiroiditi ve Graves hastalığı daha sık görülmektedir.

Klinik bulgular hastalığın tipine göre değişiklik göstermektedir. Hipotiroidide büyüme geriliği, kabızlık, soğuk intoleransı ve halsizlik ön planda iken; hipertiroidide kilo kaybı, taşikardi, sinirlilik ve terleme gibi semptomlar izlenmektedir. Tiroid nodülleri çocukluk çağında nadir görülmekle birlikte, malignite riski erişkinlere göre daha yüksek olduğundan dikkatle değerlendirilmelidir.

Tanıda ayrıntılı anamnez ve fizik muayene temel olmakla birlikte, tiroid fonksiyon testleri (TSH, serbest T4, serbest T3) ve otoantikör düzeyleri (anti-TPO, anti-Tg) önemli rol oynamaktadır. Ultrasonografi tiroid bezinin morfolojik değerlendirilmesinde ilk basamak görüntüleme yöntemi olup, nodül varlığında ince iğne aspirasyon biyopsisi tanıya yol göstericidir.

Tedavi yaklaşımı hastalığın tipine göre değişmektedir. Hipotiroidide levotiroksin tedavisi temel yaklaşım iken, hipertiroidide antitiroid ilaçlar, radyoaktif iyot tedavisi veya cerrahi seçenekler gündeme gelebilmektedir. Tiroid nodüllerinde ise malignite şüphesine göre cerrahi tedavi planlanmaktadır.

Sonuç olarak, çocukluk çağında tiroid hastalıklarının erken tanı ve uygun tedavisi, büyüme ve gelişmenin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Yaşa göre etiyolojik yaklaşım ve sistematik değerlendirme, doğru tanı ve tedavi planlamasında kritik rol oynamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tiroid hastalıkları; çocuk; hipotiroidi; hipertiroidi; tiroidit

### THYROID DISEASES IN CHILDREN: ETIOLOGY AND CLINICAL APPROACH

### ABSTRACT

Thyroid diseases in childhood are among the important endocrine disorders affecting growth, development, and metabolic regulation. These conditions may arise due to congenital or

acquired causes, and their etiology varies according to age. Congenital hypothyroidism is the most common thyroid disorder in the neonatal period and may lead to permanent neurocognitive impairment if not diagnosed and treated early. Autoimmune thyroiditis becomes more prominent in infancy and school-aged children, while Hashimoto thyroiditis and Graves' disease are more frequently observed during adolescence.

Clinical manifestations vary depending on the type of disorder. Hypothyroidism typically presents with growth retardation, constipation, cold intolerance, and fatigue, whereas hyperthyroidism is characterized by weight loss, tachycardia, irritability, and excessive sweating. Although thyroid nodules are rare in children, they carry a higher risk of malignancy compared to adults and therefore require careful evaluation.

A detailed history and physical examination are essential for diagnosis, supported by thyroid function tests (TSH, free T4, free T3) and autoantibody levels (anti-TPO, anti-Tg). Ultrasonography is the first-line imaging modality for morphological assessment of the thyroid gland, while fine-needle aspiration biopsy is useful in the evaluation of thyroid nodules.

Management depends on the underlying condition. Levothyroxine replacement is the mainstay of treatment for hypothyroidism, whereas hyperthyroidism may be managed with antithyroid drugs, radioactive iodine therapy, or surgery. Surgical intervention is considered in cases of suspected malignancy in thyroid nodules.

In conclusion, early diagnosis and appropriate management of thyroid diseases in childhood are crucial for preserving normal growth and development. An age-based etiological approach and systematic evaluation play a key role in accurate diagnosis and treatment planning.

**Keywords:** Thyroid diseases; child; hypothyroidism; hyperthyroidism; thyroiditis

## ABDOMİNAL DUVAR VE GENİTAL BÖLGEYİ KAPSAYAN GENİŞ FOURNIER GANGRENİ DEFEKTİNİN REKONSTRÜKSİYONU

### **Dr. Borhan Mohammed Abdo RADMAN**

Van Yuzuncu Yil University Medical Faculty, Department of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, 65080 Van

**ORCID ID:** 0009-0004-7328-8516

### **Dr. Burak Necati ISIK**

Van Yuzuncu Yil University Medical Faculty, Department of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, 65080 Van

**ORCID ID:** 0009-0000-5826-1199

### **Prof. Dr. Canser Yılmaz DEMİR**

Van Yuzuncu Yil University Medical Faculty, Department of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, 65080 Van

**ORCID ID:** 0000-0002-6715-6515

### **ÖZET**

**Amaç:** Fournier gangreni, perine ve genital bölgenin hızlı ilerleyen, nadir görülen ve mortalitesi yüksek nekrotizan fasiitidir. Geniş defektler, multidisipliner cerrahi yaklaşımın ardından plastik cerrahlar için önemli rekonstrüktif zorluklar yaratır. Burada sigmoid volvulusun eşlik ettiği ve hayat kurtarıcı girişimler sonrası, karın duvarı ile genital bölgeyi içeren geniş doku kaybının split-thickness deri grefti (STSG) ile rekonstrüksiyonu sunulmaktadır.

**Gereç ve Yöntem:** On yedi yıldan beri Diabetes Mellitus Tip 2 hastası olan 64 yaşındaki erkek hasta perianal ve genital bölgede şiddetli ağrı, kızarıklık, şişlik ile hastanemiz Acil kliniğine başvurdu. Fizik muayene, laboratuvar ve görüntüleme tetkikleri sonucunda Sigmoid volvulus ve Fournier gangreni tanısı konuldu. Genel cerrahi kliniğince sigmoid rezeksiyon ve hartmann kolostomi, Üroloji kliniğince bilateral orşiektomi yapıldı. Ardışık 13 debridman sonrası skrotumdan ksifoide kadar uzanan ve sağ flanka yayılan geniş doku defekti gelişti. Enfeksiyon kontrol altına alındıktan sonra Plastik cerrahi kliniğimizde anterior uyluktan alınan STSG ile rekonstrüksiyon gerçekleştirildi. Penil shaft çevresinde oluşan parsiyel greft kaybı ek greftleme yapılarak düzeltildi. Postoperatif dönemde komplikasyon izlenmedi.

**Bulgular:** Hasta iki hafta sonra taburcu edildi ve üçüncü ay kontrole geldiğinde tam iyileşme görüldü. Olgunun preoperatif, erken postoperatif ve üçüncü ay iyileşme dönemine ait fotoğrafları dokümanite edildi.

**Sonuç ve Öneriler:** Geniş Fournier defektlerinin rekonstrüksiyonu plastik cerrahi açısından büyük bir zorluktur. Bu tür olgularda STSG teknik kolaylığı, güvenilirliği ve geniş alanları kapatma başarısıyla öne çıkar. Alternatif yöntemler (lokal veya miyokütanöz flepler) seçilebilse de bu olguda tek seanslı STSG, tatmin edici estetik ve fonksiyonel sonuç vermiştir. Genel cerrahi, Üroloji, Endokrinoloji, Enfeksiyon hastalıkları ve Plastik cerrahi kliniklerinin yer aldığı

multidisipliner yaklaşım gerektiren bu olguda, Fournier gangreni sonrası oluşmuş çok geniş alanı kapsayan defektin rekonstrüksiyonu kritik öneme sahiptir. STSG geniş doku kayıplarının rekonstrüksiyonunda etkin ve güvenilir bir rekonstrüksiyon seçeneğidir.

**Anahtar Kelimeler:** Fournier gangreni, split-thickness deri grefti, rekonstrüksiyon, abdominal duvar defekti

### RECONSTRUCTION OF A LARGE FOURNIERE GANGRENE DEFECT INVOLVING THE ABDOMINAL WALL AND GENITAL AREA

#### ABSTRACT

**Purpose:** Fournier's gangrene is a rapidly progressive, rare, and highly mortal necrotizing fasciitis of the perineal and genital areas. Extensive defects pose significant reconstructive challenges for plastic surgeons following a multidisciplinary surgical approach. Here, we present a case of extensive tissue loss involving the abdominal wall and genital area associated with sigmoid volvulus, reconstructed with split-thickness skin graft (STSG) after life-saving interventions.

**Materials and Methods:** A 64-year-old man with Type 2 diabetes mellitus for 17 years presented to our hospital's emergency department with severe pain, redness, and swelling in the perianal and genital areas. Based on physical examination, laboratory, and imaging studies, the diagnosis of sigmoid volvulus and Fournier's gangrene was made. A sigmoid resection and Hartmann colostomy were performed by the general surgery clinic, and bilateral orchiectomy was performed by the urology clinic. After 13 consecutive debridements, a large tissue defect developed, extending from the scrotum to the xiphoid and extending to the right flank. After the infection was brought under control, reconstruction was performed with an STSG taken from the anterior thigh in our plastic surgery clinic. Partial graft loss around the penile shaft was corrected with additional grafting. No postoperative complications were observed.

**Findings:** The patient was discharged two weeks later and showed complete recovery at the third-month follow-up. Preoperative, early postoperative, and third-month recovery photographs were documented.

**Conclusion and Recommendations:** Reconstructing large Fournier defects presents a significant challenge for plastic surgeons. In such cases, STSG stands out for its ease of technique, reliability, and ability to cover large areas. While alternative methods (local or myocutaneous flaps) can be selected, in this case, a single-stage STSG yielded satisfactory aesthetic and functional results. In this case, which requires a multidisciplinary approach involving general surgery, urology, endocrinology, infectious diseases, and plastic surgery

clinics, reconstruction of the extensive defect resulting from Fournier's gangrene is of critical importance. STSG is an effective and reliable reconstructive option for extensive tissue.

**Keywords:** Fournier gangrene, split-thickness skin graft, reconstruction, abdominal wall defect

## 1. INTRODUCTION

Fournier's gangrene is a rare, rapidly progressing form of necrotizing fasciitis affecting the perineum and genital region, characterized by a high mortality rate (Insua 2020; Susini 2024). Extensive tissue defects pose significant reconstructive challenges for plastic surgeons following a multidisciplinary surgical approach (Dölen 2019). Although options such as free flaps are suggested for closing tissue defects caused by Fournier's gangrene, the difficulty in finding a reliable recipient vessel in extensive tissue defects, the excessive prolongation of operative time during microsurgery, and potential vascular complications in the wound bed and adjacent tissues limit the use of this method (Park 2013). Here, we present a rare case in which extensive tissue loss resulting from a life-saving intervention for a concomitant sigmoid volvulus was successfully closed using a split-thickness skin graft (STSG).

## 2. MATERIAL AND METHODS

A 64-year-old male patient with diabetes mellitus presented with severe pain, redness, and swelling in the perianal and genital regions. The diagnosis was Fournier's gangrene and sigmoid volvulus. General surgery performed sigmoid resection and Hartmann's colostomy, while urology performed bilateral orchiectomy. Following 13 sequential debridements, a large tissue defect developed extending from the scrotum to the xiphoid process and spreading to the right flank (Figures 1, 2). After the infection was brought under control, reconstruction was performed using a STSG graft harvested from the anterior thigh by the plastic surgery team (Figures 3, 4). Partial graft loss around the penile shaft was corrected with additional grafting. The patient was monitored without complications during the postoperative period, was discharged within two weeks, and showed complete recovery at the three-month follow-up (Figures 5, 6). Photographs of the patient from the preoperative, postoperative, and full recovery periods were documented.

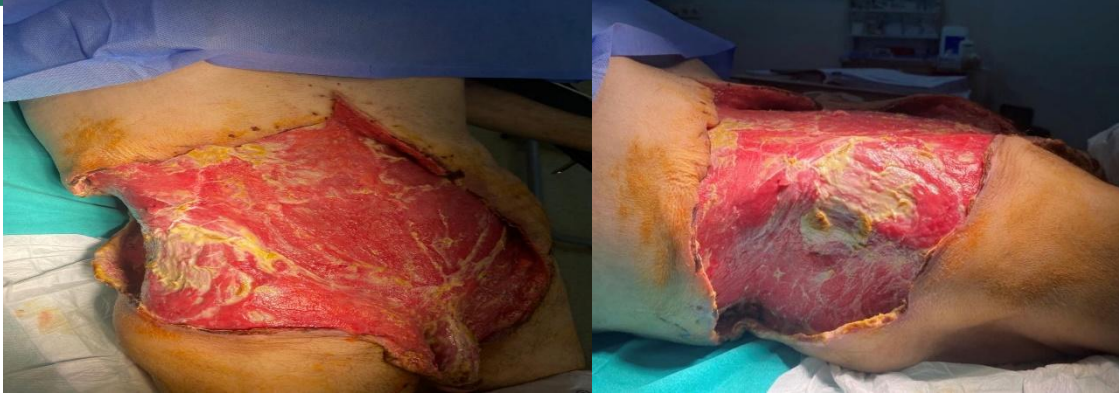


Figure 1, 2



Figure 3, 4

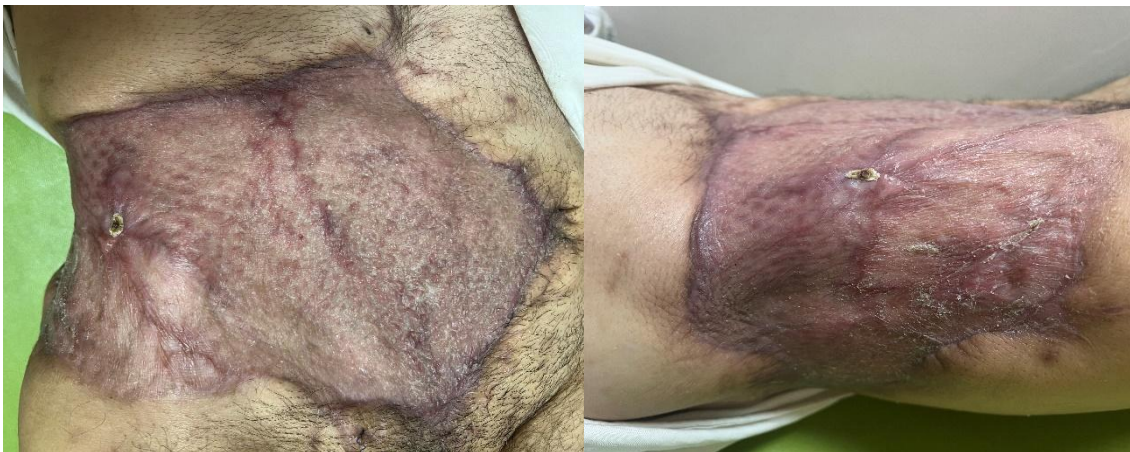


Figure 5, 6

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

Fournier's gangrene rarely spreads to the abdominal wall and flank, and when it does, it increases mortality (Yanar 2006; Tenório 2018). Although the mortality rate was reported to be 16% on average in Eke's review of 1,726 cases, it can rise as high as 40% in cases with abdominal involvement (Eke 2000). In our case, the concomitant sigmoid volvulus adds to the uniqueness of the presentation. In such cases, early aggressive surgical intervention and a multidisciplinary approach are of vital importance (Yanar 2006; Tenório 2018). Reconstruction

of extensive Fournier defects poses a significant challenge from a plastic surgery perspective. In these cases, contamination of the wound bed, trauma and edema of adjacent tissues, and the frequent inadequacy of local flaps complicate reconstruction. Furthermore, while free flaps could theoretically be used, they are a limited option for extensive defects due to difficulties in finding reliable recipient vessels, prolonged microsurgical time, and the risk of vascular complications (Park 2013; Karian 2015). In such cases, the STSG stands out for its technical ease, reliability, low donor site morbidity, short operative time, and success in covering large areas (Biju 2023). However, the disadvantages of skin grafts include the risk of graft loss and the inability to achieve full adaptation to the graft bed. Nevertheless, when an appropriate wound bed is prepared and infection is controlled, STSG yields reliable, functional, and aesthetically satisfactory results. Although alternative methods (local or myocutaneous flaps) could have been chosen, in this case, single-stage STSG produced satisfactory aesthetic and functional results.

#### 4. CONCLUSIONS

This case, which required a multidisciplinary approach involving specialists in general surgery, urology, endocrinology, and infectious diseases, highlights the critical role of plastic surgery in rare and extensive defects developing after Fournier's gangrene. STSG demonstrates that it is an effective and reliable reconstructive option for the reconstruction of extensive tissue defects.

#### REFERENCES

- Biju, N. E., Sadiq, M., Raj, S., Patel, A., Shah, R., Weale, R. D., Thomas, K., & Rose, V. (2023). Fournier's gangrene reconstruction: A 10-year retrospective analysis of practice at Guys and St Thomas's NHS Foundation Trust. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS*, 80, 13–15. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2023.02.030>
- Dölen, Utku Can. (2019). Flap Based Reconstruction for the Defects of Fournier's Gangrene. *Turkish Journal of Plastic Surgery*. 27(2), 56-61, [https://doi.org/10.4103/tjps.tjps\\_61\\_18](https://doi.org/10.4103/tjps.tjps_61_18)
- Eke N. (2000). Fournier's gangrene: a review of 1726 cases. *The British journal of surgery*, 87(6), 718–728. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.2000.01497.x>
- Insua-Pereira, I., Ferreira, P. C., Teixeira, S., Barreiro, D., & Silva, Á. (2020). Fournier's gangrene: a review of reconstructive options. *Central European journal of urology*, 73(1), 74–79. <https://doi.org/10.5173/cej.2020.0060>
- Karian, L. S., Chung, S. Y., & Lee, E. S. (2015). Reconstruction of Defects After Fournier Gangrene: A Systematic Review. *Eplasty*, 15, e18.
- Park, K. R., Kim, T. G., Lee, J., Ha, J. H., & Kim, Y. H. (2013). Single-Stage Reconstruction of Extensive Defects after Fournier's Gangrene with an Exposed Iliac Crest and Testes. *Archives of plastic surgery*, 40(1), 74–76. <https://doi.org/10.5999/aps.2013.40.1.74>
- Susini, P., Marcaccini, G., Efica, J., Giuffrè, M. T., Mazzotta, R., Caneschi, C., Cuomo, R., Nisi, G., & Grimaldi, L. (2024). Fournier's Gangrene Surgical Reconstruction: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 13(14), 4085. <https://doi.org/10.3390/jcm13144085>
- Tenório, C. E. L., Lima, S. V. C., Albuquerque, A. V., Cavalcanti, M. P., & Teles, F. (2018). Risk factors for mortality in Fournier's gangrene in a general hospital: use of simplified Fournier gangrene severe index score (SFGSI). *International braz j urol : official journal of the Brazilian Society of Urology*, 44(1), 95–101. <https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2017.0193>

Yanar, H., Tavioglu, K., Ertekin, C., Guloglu, R., Zorba, U., Cabioglu, N., & Baspinar, I. (2006). Fournier's gangrene: risk factors and strategies for management. *World journal of surgery*, 30(9), 1750–1754. <https://doi.org/10.1007/s00268-005-0777-3>

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

**Major Gheorghe GIURGIU<sup>1</sup>, Prof dr med Manole COJOCARU<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania

<https://orcid.org/0000-0002-5449-2712>

<sup>2</sup>Academy of Romanian Scientists

<sup>3</sup>Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania

<https://orcid.org/0000-0002-7192-7490>

### ABSTRACT

**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

## EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLMİŞ Ti6Al4V BİYOMALZEMESİ ÜZERİNDE POLİETİLEN GLİKOL (PEG) KAPLAMANIN FARKLI YÜKLER ALTINDA AŞINMA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

**Dr. Merve TAFTALI KÖSEOĞLU**

Erzurum Technical University, High Technology Application and Research Center (YUTAM),  
25100 Yakutiye, Erzurum

**ORCID ID:** 0000-0003-2455-9725

### ÖZET

Metal eklemeli imalat, parçaların üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım (CAD) verilerinden yola çıkılarak, geleneksel üretim tekniklerinin aksine katman katman inşa edildiği ileri bir üretim yöntemidir. Bu yeni nesil üretim tekniğinin sunduğu avantajlardan biyomedikal uygulamalardan, otomotiv sanayine, uzay ve havacılık uygulamalarından savunma sanayine kadar pek çok alanda faydalanılmaktadır. Bu bağlamda sunulan bu çalışmada biyomedikal olarak kullanıma uygun kendinden sertifikalı Ti6Al4V (Ti64) alaşım tozundan metal eklemeli üretim tekniği ile düz numuneler üretilmiştir ve üretilen numunelerin bir kısmına polietilen glikol (PEG) kaplama malzemesi olarak kaplanmıştır. Bilindiği üzere PEG, yüksek hidrofilik özellik, iyi biyouyumluluk ve toksik olmaması özellikleriyle biyomedikal uygulamalarda çokça tercih edilen bir malzemedir. Bununla birlikte eklem protezleri gibi hareketli implant yüzeylerinde iyi bir sınır yağlayıcı olarak çalışarak sürtünmeyi ve aşınmayı azaltıcı yönde etki sağladığı bilinmektedir. Dolayısıyla yapılan çalışmada işlemsiz Ti64 numuneleri ile PEG kaplanmış numunelerin farklı yükler (1N-3N) altında aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde PEG kaplı numunelerin aşınma iz genişliklerinin işlemsiz numunelerin aşınma iz genişliklerine nazaran daha dar olduğu, daha düşük sürtünme katsayısı gösterdiği ve bu sayede taban malzeme olan Ti64 alaşımının aşınma davranışını iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ti6Al4V, polietilen glikol (PEG), aşınma, biyomalzeme, eklemeli imalat

### INVESTIGATION OF THE WEAR BEHAVIOR OF POLYETHYLENE GLYCOL (PEG) COATING ON ADDITIVELY MANUFACTURED Ti6Al4V BIOMATERIAL UNDER DIFFERENT LOADS

#### ABSTRACT

Metal additive manufacturing (AM) is an advanced production method in which parts are built layer-by-layer based on three-dimensional computer-aided design (CAD) data, in contrast to traditional manufacturing techniques. The advantages offered by this next-generation manufacturing technology are utilized across a wide range of fields, ranging from biomedical applications and the automotive industry to the aerospace and defense sectors. In this context, the present study involves the fabrication of flat specimens via metal additive manufacturing

using self-certified Ti6Al4V (Ti-6Al-4V) alloy powder suitable for biomedical use. Subsequently, a portion of the manufactured specimens was coated with polyethylene glycol (PEG). As is well known, PEG is a highly preferred material in biomedical applications due to its high hydrophilicity, excellent biocompatibility, and non-toxic nature. Furthermore, it is known to act as an effective boundary lubricant on mobile implant surfaces, such as joint prostheses, thereby reducing friction and wear. Therefore, this study investigates the wear behavior of both untreated and PEG-coated Ti-6Al-4V specimens under different applied loads (1N–3N). The findings reveal that the PEG-coated specimens exhibited narrower wear track widths and lower coefficients of friction compared to the untreated specimens, demonstrating that the coating effectively improves the wear behavior of the underlying Ti-6Al-4V base material.

**Keywords:** Ti6Al4V, polyethylene glycol (PEG), wear, biomaterial, additive manufacturing

## POLİMERLERİN KARA SONDAJ OPERASYONLARINDA KULLANIMI VE ETKİLERİ

**Kübra AKIN**

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Öğrencisi

**ORCID-ID:0009-0002-3737-560X**

**Prof. Dr. Fatma Deniz ÖZTÜRK**

Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü

**ORCID-ID:0000-0002-3753-7173**

### ÖZET

Petrol hem karada hem de deniz ve göl ortamlarında bulunan; aranması, çıkarılması ve işlenmesi yüksek maliyetli ve karmaşık süreçler gerektiren önemli bir enerji kaynağıdır. Bu süreçte en kritik aşamalardan biri sondaj çalışmaları olup, uygun sondaj çamurunun seçimi maliyet ve operasyonel güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. Sondaj çamurlarında kullanılan saf XCD polimeri, viskoziteyi düzenleyerek kuyu temizliği, formasyon basıncının dengelenmesi ve ekipmanların soğutulması gibi önemli işlevler üstlenmektedir. Ancak, aşırı kullanımı çamurun viskozitesini artırarak sistem basıncının yükselmesine ve penetrasyon hızının düşmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle katkı maddelerinin optimum düzeyde kullanılması gerekmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında; çeşme suyu, saflaştırılmış XCD polimeri, modifiye nişasta, ince taneli  $\text{CaCO}_3$  ve kostik kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 350 ml çeşme suyuna sırasıyla 4 ppb modifiye nişasta, 25 ppb ince  $\text{CaCO}_3$  ve 0,15 ppb kostik ilave edilerek dört adet temel çamur numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelere ayrı ayrı 0,5 ppb, 1 ppb, 1,5 ppb ve 2 ppb oranlarında saf XCD polimeri eklenmiş ve oda sıcaklığında reolojik (çamurun akış ve deformasyon davranışını inceleyen bilim dalıdır. Yani çamurun ne kadar kolay aktığını ne kadar direnç gösterdiğini ve kesme kuvvetleri altında nasıl davrandığını açıklar) ve filtrasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, saf XCD polimerinin çamur yoğunluğu üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, reolojik ölçümlerde XCD miktarındaki artışa bağlı olarak viskozite değerlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Filtrasyon test sonuçları incelendiğinde ise, saf XCD katkılı numunelerde sıvı kaybı değerlerinin genel olarak yüksek olduğu ve bu parametre üzerinde belirgin bir iyileştirici etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, saf XCD polimerinin belirli konsantrasyonlara kadar viskozite artırıcı özelliği ile çamur reolojisini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca, kolay temin edilebilir olması, ekonomik açıdan uygunluğu ve çevre dostu doğal bir polimer olması gibi avantajları göz önünde bulundurulduğunda, sondaj çamurlarında kullanımının uygun ve faydalı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Petrol, Sondaj, Sondaj Çamuru, Saf XCD Polimeri, Reolojik Özellikler.

## **THE USE AND EFFECTS OF POLYMERS IN ONSHORE DRILLING OPERATIONS**

### **ABSTRACT**

Petroleum is a vital energy source found both onshore and in marine and lake environments; its exploration, extraction, and processing require costly and complex processes. One of the most critical stages in this process is drilling, and the selection of the appropriate drilling mud is of great importance in terms of cost and operational safety. Pure XCD polymer used in drilling muds performs important functions such as well cleaning, formation pressure equalization, and equipment cooling by regulating viscosity. However, excessive use can increase the viscosity of the mud, leading to increased system pressure and decreased penetration rate. Therefore, the use of additives at an optimum level is necessary.

This master's thesis utilized tap water, purified XCD polymer, modified starch, fine-grained  $\text{CaCO}_3$ , and caustic soda. In the experimental studies, four basic sludge samples were prepared by adding 4 ppb of modified starch, 25 ppb of fine  $\text{CaCO}_3$ , and 0.15 ppb of caustic soda to 350 ml of tap water, respectively. Pure XCD polymer was added to these samples at concentrations of 0.5 ppb, 1 ppb, 1.5 ppb, and 2 ppb, and rheological (the branch of science that studies the flow and deformation behavior of sludge; that is, how easily the sludge flows, how much resistance it exhibits, and how it behaves under shear forces) and filtration measurements were performed at room temperature.

According to the findings, no significant effect of pure XCD polymer on sludge density was observed. However, rheological measurements revealed an increase in viscosity values with increasing XCD content. Filtration test results showed that liquid loss values were generally higher in samples with pure XCD additive, indicating a significant improvement in this parameter.

In conclusion, pure XCD polymer, up to certain concentrations, positively influences mud rheology with its viscosity-enhancing properties. Furthermore, considering its advantages such as easy availability, economic feasibility, and being an environmentally friendly natural polymer, its use in drilling muds has been determined to be appropriate and beneficial.

**Keywords:** Petroleum, Drilling, Drilling Mud, Pure XCD Polymer, Rheological Properties.

## BENTONİT ZEMİNİN SERBEST BASINÇ DAYANIMINA YÜKSEK FIRIN CÜRUFÜNÜN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Dr. Bahadır KARABAŞ**

Inonu University, Battalgazi, Malatya

**ORCID ID:** 0000-0003-0416-9121

**Doç. Dr. Ali Ulvi UZER**

Kayseri University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Construction, 38280 Talas, Kayseri

**ORCID ID:** 0009-0002-7916-8078

### ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel bir atık olan yüksek fırın cürufunun (YFC), bentonit (BT) zeminin serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda zemin numunesine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında YFC ilave edilerek stabilize karışım numuneleri hazırlanmıştır. Katkısız ve katkılı zemin numuneleri ASTM D698 standardına göre proktor deneyine tabi tutulduktan sonra maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevaları tespit edilmiştir. Belirlenen muhtevalarda hazırlanan numunelere 7 günlük kür süresi sonrasında ASTM D2166 standardına göre serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalar sonucunda; karışımlarda YFC oranı arttıkça, optimum su muhtevası değerinin arttığı ve maksimum kuru birim hacim değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca; YFC ilave edilen bütün numunelerin serbest basınç dayanımları katkısız zemine kıyasla daha yüksek elde edilmiştir. %5, %10, %15 ve %20 oranlarında YFC ilave edilerek hazırlanan karışımlarda katkısız zemine kıyasla mukavemet değerinde sırasıyla, % 32,14; % 101,66; % 165,61 ve % 114,91 oranında artış elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında en büyük mukavemet değeri % 15 YFC içeren numunelerde tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bentonit zeminin stabilizasyonunda YFC kullanılmasının zemin mukavemetini iyileştireceği, zemin iyileştirmesine yönelik faaliyetlerde çeşitli katkı malzemelerinin araştırılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Yüksek Fırın Cürufu, Bentonit, Stabilizasyon, Proktor Deneyi, Serbest Basınç Deneyi.

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GROUND GRANULATED BLAST FURNACE SLAG ON THE UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF BENTONITE SOIL

#### ABSTRACT

In this study, the effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS), an industrial by-product, on the unconfined compressive strength of bentonite (BT) soil was investigated. Within this scope, stabilized soil mixtures were prepared by adding GGBFS at rates of 5%,

10%, 15%, and 20% by weight. Both untreated and treated soil samples were subjected to the Proctor compaction test in accordance with ASTM D698, and their maximum dry unit weights and optimum moisture contents were determined. The samples prepared at the determined moisture contents were then cured for 7 days and subjected to unconfined compression tests in accordance with ASTM D2166. The experimental results indicated that, as the GGBFS content increased, the optimum moisture content increased while the maximum dry unit weight decreased. Furthermore, all GGBFS-treated samples exhibited higher unconfined compressive strength compared to the untreated soil. Strength increases of 32.14%, 101.66%, 165.61%, and 114.91% were obtained for mixtures containing 5%, 10%, 15%, and 20% GGBFS, respectively, compared to the untreated soil. The highest strength value was observed in the samples containing 15% GGBFS. In conclusion, the use of GGBFS in the stabilization of bentonite soil is expected to improve soil strength and contribute to studies investigating alternative additives for soil improvement.

**Keywords:** Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS), Bentonite, Stabilization, Proctor Test, Unconfined Compression Test.

## 1. INTRODUCTION

Daily terrestrial transportation activities, which play a vital role in meeting the requirements of modern life, are facilitated through various transportation infrastructures such as highways and railways. However, it is not always possible to design and construct such structures on soils possessing the desired engineering properties or under favorable ground conditions. In this context, it is considered that improving soils with insufficient bearing capacity through the use of various stabilizing additives can enable the construction of these infrastructures in a more economical and safer manner. Accordingly, studies investigating alternative additive materials for use in soil stabilization have increased significantly in recent years (Sakr et al., 2009).

In the study conducted by Sakr et al. (2009), lime was used to improve a soft clayey soil containing approximately 14% organic matter, obtained from Idku, Egypt. Within this scope, a series of unconfined compressive strength (UCS) tests were performed by adding lime at proportions of 1%, 3%, 5%, and 7% by weight, with curing periods of 7, 15, 30, and 60 days. The results indicated that the strength of the soil increased by approximately seven times at 7% lime content after 60 days of curing. Bilgen et al. (2012) investigated the stabilization of a low-plasticity clay using steel slag and lime. The initial UCS value of 279 kPa increased to 960 kPa with the addition of 3.33% steel slag after 28 days of curing. Furthermore, when 5% lime was added to the same soil, the UCS reached 2700 kPa after 28 days of curing. In the study

conducted by Roy (2014), an inorganic clay soil was stabilized using cement and rice husk ash. For this purpose, 6% cement was combined with 10%, 15%, and 20% rice husk ash, and a series of experiments were carried out. The results showed that increasing the rice husk ash content led to an increase in the optimum moisture content, while the maximum dry unit weight decreased. Additionally, both UCS and CBR values significantly improved with increasing additive content, and the optimum mixture was identified as 6% cement and 10% rice husk ash. Yadav et al. (2017) investigated the stabilization of a clay soil using rice husk ash and sugarcane ash. It was determined that the addition of 7.5% rice husk ash enhanced the bearing capacity of the soil, whereas similar improvements were not observed for sugarcane ash and cow dung ash. Therefore, the use of rice husk ash in soil stabilization was recommended. In another study, Brooks (2009) examined the use of waste materials such as fly ash and rice husk ash in clay soil stabilization. By incorporating these additives at different proportions, UCS and CBR tests were conducted. It was observed that increasing the fly ash content up to 25% resulted in a 105% increase in shear strength and a 50% increase in deformation. Moreover, when the rice husk ash content reached 12%, the CBR value increased by 47% and the UCS by 97%. Geçkil et al. (2021) investigated the use of carbon black obtained from waste vehicle tires for the improvement of subgrade soils. According to the test results, the CBR value increased by 2.87 times with the addition of 10% carbon black after 28 days of curing. Domphoeun and Eisazadeh (2024) studied the strength characteristics of lateritic soil stabilized with rice husk ash, coconut fiber, and lime. In this study, samples containing different proportions of additives were prepared and subjected to modified Proctor, UCS, liquid limit, and plastic limit tests. The optimum mixture was determined as 20% rice husk ash, 1% coconut fiber, and 8% lime. Uzer et al. (2025) reported that geopolymer binders based on ground granulated blast furnace slag and fly ash provide sustainable stabilization in clay soils, and that the results modeled using artificial neural networks confirmed the observed strength improvements.

Based on the literature review, it has been concluded that the use of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) as a waste material in the stabilization of bentonite soils is of considerable importance in terms of waste utilization. In this study, the effect of GGBFS, an industrial by-product, on the unconfined compressive strength of bentonite soil was investigated. For this purpose, stabilized soil samples were prepared by adding GGBFS at proportions of 5%, 10%, 15%, and 20% by weight. Standard Proctor tests were conducted on both untreated and GGBFS-treated samples. Subsequently, samples prepared at their respective optimum moisture contents were cured for 7 days and then subjected to unconfined compressive

strength tests.

## 2. MATERIAL AND METHODS

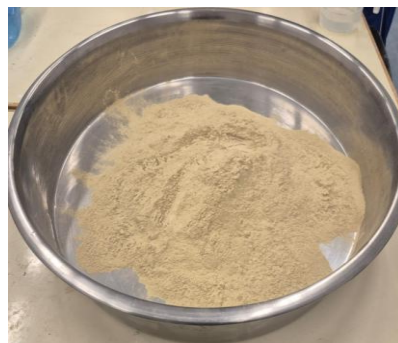
### 2.1. Material

#### 2.1.1. Soil Used

In this study, the sodium bentonite (BT) employed as the test material is a clay mineral characterized by high plasticity, significant swelling potential, and low strength, which can cause various engineering problems. Being montmorillonite-based, this soil is classified as a high-plasticity clay (CH) according to the Unified Soil Classification System (USCS). The specimens used in the experiments were prepared in accordance with the relevant standards (ASTM International, 2006; ASTM International, 2014; ASTM International, 2017), and their properties are presented in Table 1 and Figure 1.

**Table 1.** Properties of Bentonite

Variable Name	Value	Unit	Standard
Classification	CH	-	ASTM D6913
Optimum moisture content	35,25	%	ASTM D698
Maximum dry density	1,310	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D698
Retained on 150 µm sieve	2,50	%	ASTM D6913
Retained on 75 µm sieve	12,5	%	ASTM D6913
Liquid limit	350-450	%	ASTM D4318
Bulk density	0,9	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D854



**Figure 1.** Image of Bentonite Sample

#### 2.1.2. Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)

Ground granulated blast furnace slag (GGBFS) is an industrial by-product obtained by the rapid cooling, granulation, and subsequent grinding of molten slag generated during iron and steel production. It exhibits hydraulic binding properties and, owing to its chemical constituents primarily CaO, SiO<sub>2</sub>, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> undergoes pozzolanic reactions that enhance its binding capacity. Because of these characteristics, GGBFS is considered an environmentally

sustainable alternative material, widely utilized in geopolymer production and soil stabilization as a substitute for cement. The GGBFS used in this study was supplied by the İskenderun Iron and Steel Plant, and its chemical properties together with a representative sample image are presented in Table 2 and Figure 2.

**Table 2.** Chemical Properties of GGBFS

Parameter	Value (%)
CaO	33.6
SiO <sub>2</sub>	41.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.3
MgO	7.3
S	0.8
MnO	0.8
K <sub>2</sub> O	0.9
TiO <sub>2</sub>	1.1



**Figure 2.** View of Blast Furnace Slag Specimen

## 2.2. Method

### 2.2.1. Experimental Studies

For soil classification, particle size distribution analyses were conducted (Uzuner, 2014). Hydrometer tests were performed for fine-grained soils in accordance with ASTM D422-63, while sieve analyses were carried out for coarse-grained soils following ASTM C136/C136M. Consistency tests were conducted to determine the variation in soil behavior with respect to water content, in accordance with ASTM D4318. The liquid and plastic limits were identified. The liquid limit, defined as the water content at which the soil transitions to a flowing state without rupture, was determined using the Casagrande method. The plastic limit represents the lowest water content at which the soil exhibits plastic behavior, and the plasticity index was calculated as the difference between the liquid limit and the plastic limit (Uzuner, 2014). The specific gravity of the soil was determined using the pycnometer method, with approximately 100 g of soil samples oven-dried at 105 °C for 24 hours. The test was performed in accordance with ASTM D824, and the specific gravity was calculated using the relevant formula (Orhan, 2013).

The Standard Proctor test (ASTM D698) was conducted to determine the maximum dry unit weight and optimum moisture content by expelling air from the soil through mechanical compaction and water addition. Prepared specimens were compacted in three layers, each subjected to 25 blows. The test was repeated at five different moisture contents, and the saturation curve as well as the optimum values were obtained (Orhan, 2013).

The unconfined compression test (ASTM D2166) was performed to evaluate the strength of specimens prepared at maximum dry unit weight and optimum moisture content after specific curing periods. Samples were oven-dried at 105 °C for 24 hours, kneaded with predetermined water contents, and placed into molds in layers, each compacted with 10 blows. The specimens were cured at room temperature. During testing, loads up to 100 kN were applied, with axial strain maintained between 0.5–2% per minute. Strength values were determined considering deformation and strain behavior (Orhan, 2013). The unconfined compression test was conducted on soil and mixture specimens after a 7-day curing period, in accordance with ASTM D2166. The stages of the unconfined compression test are illustrated in Figure 3.



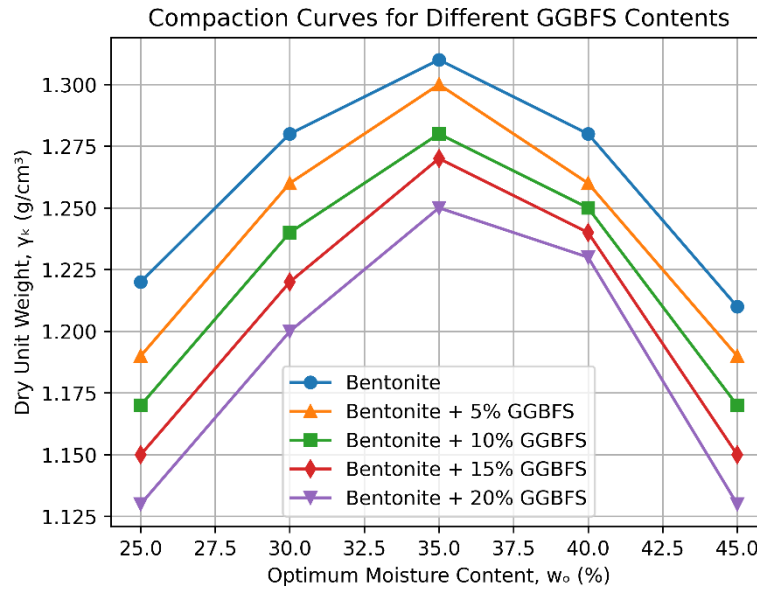
**Figure 3.** Stages of the Unconfined Compression Test

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

In the study investigating the effect of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on the unconfined compressive strength of bentonite soil, stabilized soil mixtures were prepared by incorporating GGBFS at proportions of 5%, 10%, 15%, and 20% by weight. Both untreated and GGBFS-treated soil specimens were subjected to the Standard Proctor test, and unconfined compression tests were performed on specimens after a curing period of seven days.

#### 3.1. Standard Proctor Test Findings

The Standard Proctor test was conducted on untreated soil as well as on specimens prepared with 5%, 10%, 15%, and 20% GGBFS additions. Figure 4 presents the compaction curves obtained from the test results, based on dry unit weight and moisture content values. Table 3 summarizes the maximum dry unit weight ( $\gamma_{dmax}$ ) and optimum moisture content ( $w_{opt}$ ) determined for each mixture.



**Figure 4.** Compaction Curves of Untreated and GGBFS-Stabilized Soil from the Standard Proctor Test

**Table 3.** Results of the Standard Proctor Test for Untreated and GGBFS-Stabilized Soil

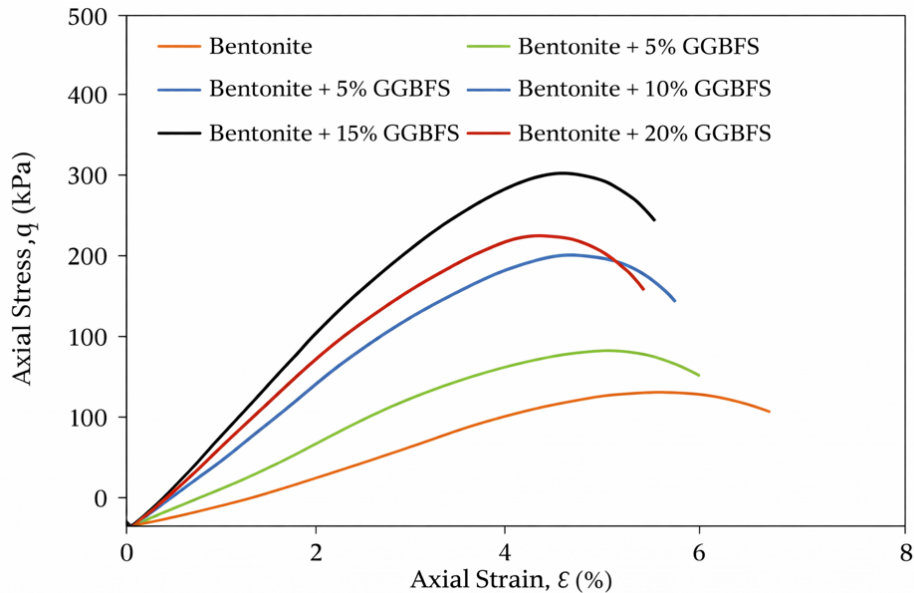
Test Specimen	$\gamma_{kmaks}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$W_{opt}$ (%)
BT	1,310	35,25
BT + 5% GGBFS	1,297	35,63
BT + 10% GGBFS	1,285	36,05
BT + 15% GGBFS	1,274	36,44
BT + 20% GGBFS	1,261	36,85

Examination of the Standard Proctor test results indicated that as the proportion of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) increased, the optimum moisture content ( $w_{opt}$ ) also increased, while the maximum dry unit weight ( $\gamma_{dmax}$ ) decreased. The experimental findings were consistent with those reported in the literature (Tanyıldızı, 2020; Hamed & Demiröz, 2024; Shakil, Nazar, Ameen, Shahzad, & Ahmad, 2025; Sarıcı, Geçkil, Ok, & Aksoy, 2025). This outcome corresponds with the explanation in previous studies that the relatively low specific gravity, porous particle structure, and void-enhancing effect of GGBFS reduce the compactability of the mixture and increase its water demand (Shakil, Nazar, Ameen, Shahzad, & Ahmad, 2025; Sas et al., 2021).

### 3.2 Unconfined Compression Test Findings

Unconfined compression specimens were prepared using the  $w_{opt}$  and  $\gamma_{dmax}$  values determined from the Standard Proctor test for untreated soil and for soils stabilized with 5%,

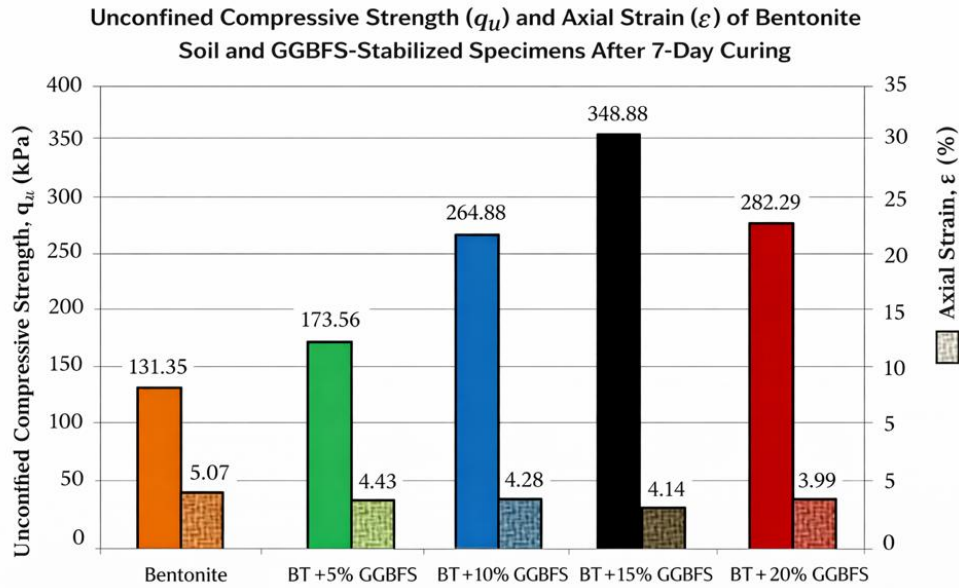
10%, 15%, and 20% GGBFS additions. The unconfined compression test was performed after a curing period of seven days. Figure 5 presents the axial strain–stress curves of untreated and GGBFS-stabilized specimens, Figure 6 shows the comparative results, Table 4 summarizes the obtained strength values, and Figure 7 illustrates the percentage increase in unconfined compressive strength with respect to GGBFS content.



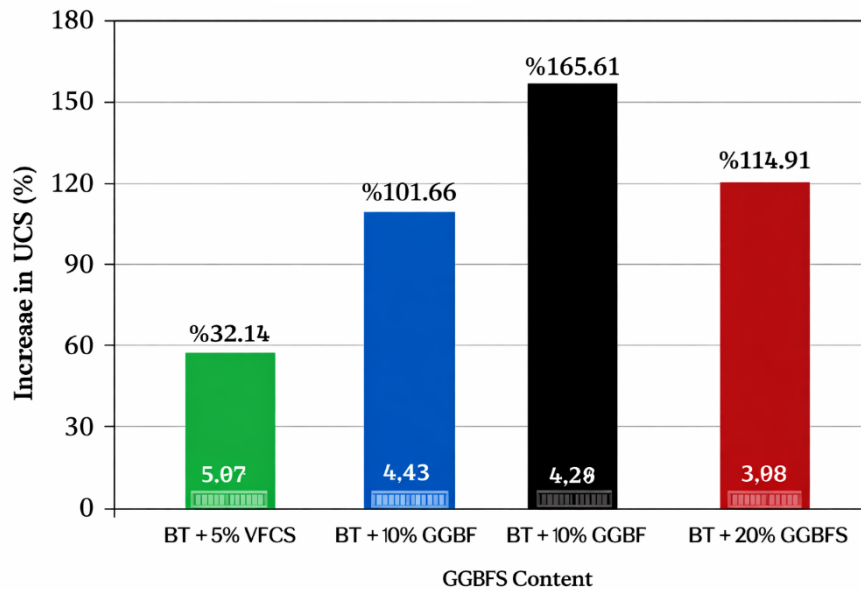
**Figure 5.**  $q$ - $\epsilon$  Curve of Untreated and GGBFS-Stabilized Specimens after 7-Day Curing Following the Unconfined Compression Test

**Table 4.**  $q_u$ - $\epsilon_u$  Results of Untreated and GGBFS-Stabilized Specimens after 7-Day Curing Following the Unconfined Compression Test

Test Specimen	Unconfined Compressive Strength, $q_u$ (kPa)	Axial Strain, $\epsilon_u$ (%)
BT	131,35	5,07
BT + 5% GGBFS	173,56	4,43
BT + 10% GGBFS	264,88	4,28
BT + 15% GGBFS	348,88	4,14
BT + 20% GGBFS	282,29	3,99



**Figure 6.** Comparison Graph of  $q_u$ - $\epsilon_u$  Results for Untreated and GGBFS-Stabilized Specimens after 7-Day Curing Following the Unconfined Compression Test



**Figure 7.** Percentage Increase in Unconfined Compressive Strength of GGBFS-Stabilized Specimens Compared to Untreated Soil after 7-Day Curing

Considering the findings presented in Table 4 and Figures 5–7, it was observed that the unconfined compressive strength of bentonite soil (BT) was lower than that of the GGBFS-stabilized mixtures. Moreover, the incorporation of GGBFS enhanced the strength of BT soil, and these results were consistent with the literature (Tanyıldızı, 2020; Hamed & Demiröz, 2024; Shakil, Nazar, Ameen, Shahzad, & Ahmad, 2025; Sarıcı, Geçkil, Ok, & Aksoy, 2025). In mixtures prepared with 5%, 10%, 15%, and 20% GGBFS additions, the strength values

increased by 32.14%, 101.66%, 165.61%, and 114.91%, respectively, compared to untreated soil. Among these, the highest strength value was obtained in specimens containing 15% GGBFS.

Furthermore, it was determined that strain decreased in GGBFS-stabilized mixtures, which is attributed to the increased stiffness of the mixtures due to the presence of GGBFS. These findings are in agreement with the literature (Uzuner, 2014), which emphasizes that the strain of soft soils is greater than that of stiff soils.

#### 4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Based on the results of the unconfined compression tests conducted on GGBFS-stabilized bentonite (BT) soil specimens after 7 days of curing, the following conclusions were drawn:

1. The strength values of mixtures prepared with GGBFS were higher than those of untreated BT soil, indicating that GGBFS significantly improved the strength of the mixtures.
2. Increasing the proportion of GGBFS in the mixtures enhanced their stiffness, which consequently reduced the axial strain of the specimens.
3. The highest strength value after 7 days of curing was obtained in specimens containing 15% GGBFS. The strength of these specimens increased by 165.61% compared to untreated BT soil.
4. The observed increase in strength is attributed to the hydraulic and pozzolanic properties of GGBFS, which provide binding performance and positively influence shear strength parameters.

In conclusion, the use of GGBFS in the stabilization of bentonite soil is considered effective in improving soil strength. The incorporation of such industrial by-products into soil stabilization practices not only enhances geotechnical performance but also contributes to sustainability by promoting the utilization of waste materials, thereby offering both environmental and economic benefits.

#### KAYNAKÇA

- [1] Sakr, M. A., Shahin M. A. ve Metwally Y., M., (2009). Utilization of Lime for Stabilizing Soft Clay Soil of High Organic Content, *Geotech Geol Eng* (2009) 27:105–113.
- [2] Bilgen, G., Kavak, A. ve Çapar, Ö. F. (2012). Düşük plastisiteli bir kilde katkı olarak çelikhane cürufunun kullanılması ve kireç ile etkileşiminin araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2 (2), 30-38.
- [3] Roy, A., (2014). Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement, *International Journal of Civil Engineering Research*, Research India Publications, ISSN 2278-3652 Volume 5, Number 1 (2014), pp. 49-54.
- [4] Yadav A.K., Kumar G., Roop K. ve Suman S.K. (2017). Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads, *International Journal of Pavement Research and Technology* Volume 10, Issue 3, May 2017, Pages 254-261.
- [5] Brooks, R.M., (2009). Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, ISSN: 2076-734X, EISSN: 2076-7366 Volume 1, Issue 3 (December 2009), 209-217
- [6] Geçkil, T., Sarıcı, T., Karabaş, B., (2021), Siyah Karbon Stabilizasyonlu Zeminin Rijit Kaplama Kalınlığı ve Maliyetine Etkileri, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi* 2021, 8 (2); 1372-1384.

- [7] Dompheun, R., Eisazadeh, A. (2024), Flexural and Shear Strength Properties of Laterite Soil Stabilized with Rice Husk Ash, Coir Fiber, and Lime. *Transp. Infrastruct. Geotech.* <https://doi.org/10.1007/s40515-023-00364-5>
- [8] Uzer, A. U., et al. (2025). Sustainable stabilization of clay soils using fly ash and blast furnace slag-based geopolymers: Comprehensive experimental evaluation and artificial neural network modelling. *Structural Engineering and Mechanics: An International Journal*, 96(1), 13–33.
- [9] ASTM International. (2014). ASTM D698: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort. West Conshohocken, PA.
- [10] ASTM International. (2006). ASTM D854: Standard test method for specific gravity of soils. West Conshohocken, PA.
- [11] ASTM International. (2017). ASTM D6913: Standard test methods for particle-size distribution (gradation) of soils using sieve analysis. West Conshohocken, PA.
- [12] Uzuner, B. A. (2014). *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi Trabzon.
- [13] Orhan, M. vd (2013), *Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*, Gazi Kitabevi Ankara.
- [14] Tanyıldızı, M. M. (2020). Yüksek fırın cürufu ile stabilize edilmiş killi bir zeminin yol esnek üstyapı tabaka kalınlıklarına ve maliyetine etkileri [Effects of blast furnace slag stabilization on flexible pavement thickness and cost]. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 32(2), 509–520. <https://doi.org/10.35234/fumbd.738512>
- [15] Hamed, E., & Demiröz, A. (2024). Optimization of geotechnical characteristics of clayey soils using fly ash and granulated blast furnace slag-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 441, 137488.
- [16] Shakil, M., Nazar, S., Ameen, H. F. M., Shahzad, A., & Ahmad, F. (2025). A comparative study of ground granulated blast furnace slag and bagasse ash incorporation on enhancing mechanical properties of expansive soil. *Results in Engineering*, 25, 103569.
- [17] Sarıcı, T., Geçkil, T., Ok, B., & Aksoy, H. S. (2025). An investigation of the usability of alkali-activated blast furnace slag-additive construction demolition waste as filling material. *Materials*, 18(2), 398. <https://doi.org/10.3390/ma18020398>
- [18] Sas, W., Dzięcioł, J., Radzevičius, A., Radziemska, M., Dapkienė, M., Šadzevičius, R., Głuchowski, A. (2021). Geotechnical and environmental assessment of blast furnace

## MEVCUT BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ VE GÜÇLENDİRME SENARYOLARI

**İnş. Müh. Gamze AKIN**

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, 43100, Kütahya

**ORCID ID:** 0009-0004-6823-3334

**Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Halûk SARAÇOĞLU**

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., 43100, Kütahya

**ORCID ID:** 0000-0003-3842-5699

### ÖZET

Bu çalışmada, mevcut bir betonarme binanın deprem performansı TBDY 2018 esaslarına göre değerlendirilmiş ve iki farklı güçlendirme yöntemi teknik ve performans açısından karşılaştırılmıştır. İncelenen yapı; düşük beton dayanımı, yetersiz donatı özellikleri ve eski yönetmeliklere göre tasarlanmış olması nedeniyle başlangıçta yetersiz deprem performansı sergilemiştir. Özellikle kolon elemanlarında yüksek oranlarda ileri hasar gözlenmiştir. İlk güçlendirme senaryosunda, yapıya her iki doğrultuda yeni betonarme perde elemanları eklenerek sistem rijitliği ve yatay yük taşıma kapasitesi artırılmıştır. Analiz sonuçları, bu yöntemle tüm taşıyıcı elemanların “Sınırlı Hasar (SH)” performans düzeyine ulaştığını göstermiştir. İkinci senaryoda ise yetersiz kolonlar karbon lif takviyeli polimer (CFRP) ile sarılmış ve perde sayısı azaltılarak hibrit bir güçlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemde kolonların süneklik ve dayanım kapasiteleri artırılmış, daha dengeli bir iç kuvvet dağılımı sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, her iki yöntemin de hedeflenen performans düzeyini sağladığını; ancak CFRP ile kolon güçlendirmesi ve azaltılmış perde kullanımını içeren hibrit yaklaşımın daha az müdahale ile benzer performans sağlaması nedeniyle mühendislik ve ekonomi açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak, mevcut yapıların güçlendirilmesinde rijitlik artırıcı ve süneklik geliştirici yöntemlerin birlikte kullanıldığı bütüncül yaklaşımların daha etkin olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme yapılar, deprem performansı, TBDY 2018, yapı güçlendirme, CFRP, betonarme perde, hibrit güçlendirme

### PERFORMANCE EVALUATION OF AN EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDING AND STRENGTHENING SCENARIOS

#### ABSTRACT

In this study, the seismic performance of an existing reinforced concrete building was evaluated in accordance with the TBDY 2018, and two different strengthening methods were compared in terms of technical efficiency and structural performance. The investigated building initially exhibited inadequate seismic performance due to low concrete strength, insufficient

reinforcement detailing, and outdated design provisions. Significant levels of severe damage were observed, particularly in column elements. In the first strengthening scenario, new reinforced concrete shear walls were added in both principal directions to enhance global stiffness and lateral load-carrying capacity. The analysis results indicated that all structural members achieved the “Immediate Occupancy (IO)” performance level. In the second scenario, insufficient columns strengthened with carbon fiber reinforced polymer (CFRP) wrapping, and the number of added shear walls was reduced, resulting in a hybrid strengthening approach. This method improved the ductility and load-bearing capacity of columns while ensuring a more balanced internal force distribution. The findings demonstrated that both methods successfully achieved the target performance level; however, the hybrid approach, combining CFRP confinement with a reduced number of shear walls, provided similar performance with less intervention, making it more advantageous in terms of engineering efficiency and cost. Consequently, integrated strengthening strategies that combine stiffness enhancement and ductility improvement techniques are more effective for upgrading existing structures.

**Keywords:** Reinforced concrete structures, seismic performance, TBDY 2018, structural strengthening, CFRP, shear wall, hybrid strengthening

## 1. GİRİŞ

Yapı güçlendirme, mevcut bir yapının zamanla azalan dayanım ve süneklik özelliklerinin, mühendislik esaslarına uygun şekilde artırılmasıdır. Bu süreç, özellikle deprem etkilerine karşı yapının güvenli performans göstermesini amaçlar. Türkiye gibi sismik açıdan aktif bölgelerde, eski yönetmeliklere göre inşa edilmiş yapıların değerlendirilmesi ve gerektiğinde güçlendirilmesi büyük önem taşır. Onarım, hasar görmüş yapı elemanlarının eski özelliklerine kavuşturulmasını kapsarken; güçlendirme, yapının deprem davranışını iyileştirmeye yönelik ilave müdahaleleri içerir.

Bu konunun güncelliğini koruması nedeniyle literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Tatar (Tatar, 2025) yüksek lisans tez çalışmasında, 1998–2005 yılları arasında inşa edilen 12 derslikli betonarme tip okul binalarının deprem performansını incelemiştir. Farklı malzeme ve donatı özelliklerine sahip 12 model üzerinde doğrusal olmayan analizler yapmış, yetersiz kalan durumlar için perde ekleme ve FRP içeren hibrit güçlendirme yöntemleri geliştirmiştir. Sonuçlar, hibrit güçlendirmenin yapı performansını önemli ölçüde artırdığını ve maliyet açısından da yeniden yapım ve geleneksel yöntemlere göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Efe ve Bedirhanoglu (Efe & Bedirhanoglu, 2024), yaptıkları çalışmada betonarme perde duvarların deprem performansında kritik rol oynadığı, ancak kusurlu tasarım ve uygulamaların ciddi hasarlara yol açtığını ortaya koymuştur. Özellikle FRP gibi güçlendirme yöntemlerinin perde davranışını iyileştirdiği ve yapısal kapasiteyi artırdığı belirtilmiştir.

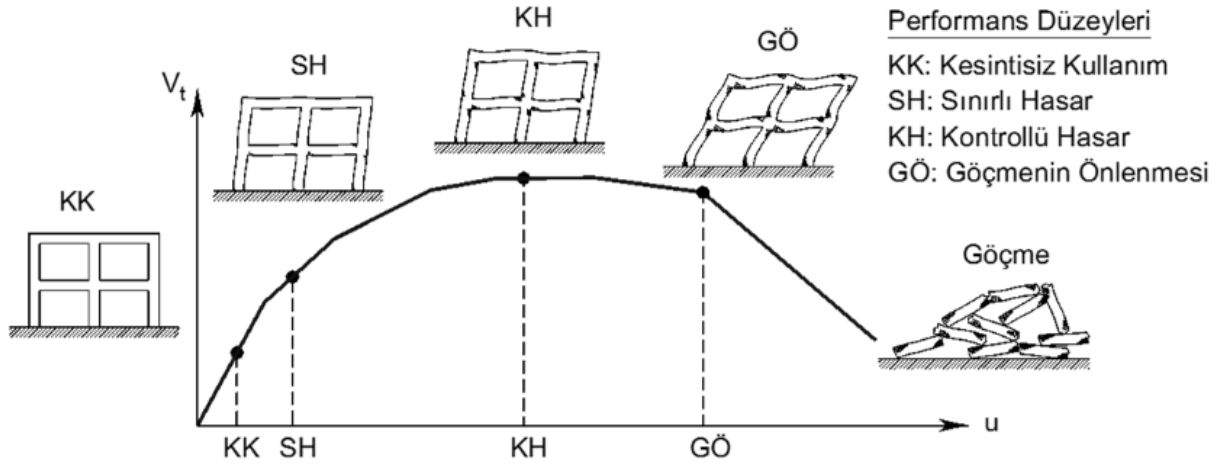
Yakut ve Binici (Yakut & Binici, 2023), çalışmalarında Türkiye'deki yapı stokunun önemli bir kısmının, büyük ölçüde 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş az ve orta katlı betonarme yapıların oluşturduğunu ve bu yapıların eski yönetmeliklere göre tasarlandıkları için deprem performanslarının genellikle yetersiz olduğunu tespit etmişlerdir. Düşük malzeme kalitesi, kötü işçilik ve yetersiz tasarım gibi nedenlerle yüksek risk taşıdıklarını ve 1998 deprem yönetmeliği, TS500 standardı, hazır beton kullanımı ve yapı denetim sistemi gibi sonradan getirilen düzenlemelerin bu yapılarda bulunmadığını ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, bu riskli yapıların durumu değerlendirilerek deprem riskinin azaltılmasına yönelik öneriler sunulmaktadır.

Ayrıca konu ile ilgili yapılmış pek çok lisansüstü tez çalışması literatürde yer almaktadır (Çimen, 2018; Karabacak, 2020; Kocabay, 2017; Navdar, 2020; Parlakoğlu, 2010; Şahin, 2019; Sanrı, 2015; Shujarı, 2023; Turan, 2022; Yalçın, 2023).

Bu çalışmada, bir betonarme yapının deprem performansı incelenmiş ve iki farklı güçlendirme yöntemi teknik açıdan karşılaştırılmıştır.

## **2. MALZEME ve YÖNTEM**

TBDY 2018'in 15. bölümü, deprem etkileri altında mevcut yapıların performansının değerlendirilmesi ve bu yapıların güçlendirilmesine yönelik tasarım esaslarının belirlenmesine ilişkin özel düzenlemeleri kapsamaktadır. Yönetmelikte, deprem etkisi altındaki yapı taşıyıcı sistemlerinin davranışını değerlendirebilmek amacıyla dört farklı performans düzeyi tanımlanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Bina performans düzeyleri(Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği TBDY 2018, 2018).

Bu performans düzeyleri sırasıyla Kesintisiz Kullanım (KK), Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) şeklindedir.

Yönetmelik hükümleri uyarınca, mevcut binalardan elde edilen veriler doğrultusunda bilgi düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bilgi düzeyi, yapıya ilişkin yapılan inceleme ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen mevcut durum verilerinin kapsamı ve güvenilirliğine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, her bir bilgi düzeyi için ilgili bilgi düzeyi katsayıları da ayrıca tanımlanmaktadır. İncelenen yapılardan elde edilen bilgi düzeyine bağlı olarak, taşıyıcı eleman kapasitelerine uygulanacak katsayılar Tablo 1’te sunulmuştur.

Tablo 1. Binalar için bilgi düzeyi katsayıları(TBDY,2018).

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
<b>Kapsamlı</b>	<b>1</b>

Yönetmelikte betonarme yapılar için farklı güçlendirme yöntemleri tanımlanmıştır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018), mevcut betonarme yapıların deprem güvenliğinin artırılmasına yönelik çalışmaları, taşıyıcı sistemin bir bütün olarak davranmasını esas alacak şekilde ele almaktadır. Bu çerçevede güçlendirme; deprem etkileri altında oluşabilecek hasarların giderilmesi, yapının dayanım ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması, iç kuvvet aktarımının sistem genelinde süreklilik sağlayacak biçimde düzenlenmesi ve gerekli durumlarda yeni taşıyıcı elemanların sisteme dahil edilmesi gibi uygulamaları kapsamaktadır. Bu bağlamda güçlendirme, yalnızca hasar görmüş bölgelerin onarımı ile sınırlı olmayıp,

yapının deprem performansının hedeflenen düzeye ulaştırılmasını amaçlayan ve taşıyıcı sistemin tamamını kapsayan bütüncül yapısal müdahaleler bütünü olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan betonarme perde ilavesi ve kolona CFRP sarılması yönetmelikteki güçlendirme yöntemlerindedir.

### **2.1. Yeni Betonarme Perde İlavesi**

Yetersiz yanal rijitlik ve dayanım sergileyen betonarme çerçeve sistemler, yerinde dökme betonarme perde elemanlarının ilavesi ile güçlendirilebilmektedir. Söz konusu perdeler, mevcut çerçeve açıklıkları içerisinde veya çerçeveye bitişik konumda yerleştirilerek taşıyıcı sistemle bütünleştirilebilmektedir.

Betonarme çerçeve içerisine perde eklenmesi suretiyle gerçekleştirilen güçlendirme uygulamalarında, perde elemanının temelden başlayarak üst kotlara kadar süreklilik gösterecek şekilde düzenlenmesi esastır. Perde uç bölgelerinde ve gerekli durumlarda perde gövdesinde yer alan boyuna donatıların katlar boyunca sürekliliği sağlanmalıdır. Yeni perde ile mevcut çerçeve sisteminin birlikte çalışmasını temin etmek amacıyla arayüzlerde ankraj donatıları kullanılmakta olup, bu donatıların boyutlandırılması kayma aktarımına ilişkin mekanik esaslar dikkate alınarak yapılmaktadır.

Ankraj donatılarına ilişkin minimum çap, aralık ve gömme derinliği koşullarının sağlanması gerekmektedir. Mevcut kolonların perde uç bölgesinde yer alıp almamasına bağlı olarak perde uç bölgesi ayrıca düzenlenmekte ve uygun durumlarda mevcut kolon elemanlarından yararlanılmaktadır. Perde altında yer alan temel sistemi ise, perde tabanında oluşan iç kuvvetleri güvenli bir şekilde zemine aktaracak biçimde tasarlanmakta; gerekli hallerde temel boyutları artırılarak dışmerkezlik etkileri azaltılmaktadır.



Şekil 3. Taşıyıcı sisteme yeni perde ilave edilmesi.

Ayrıca, yeni perde temeli ile mevcut temel sisteminin birlikte çalışmasını sağlayacak yapısal düzenlemelerin yapılması büyük önem taşımaktadır. Mevcut betonarme yapının taşıyıcı sistemine yeni betonarme perde elemanının eklenmesi ile ilgili örnek bir görsel Şekil 3'te verilmektedir.

## 2.2 Kolonların Karbon Lifli Polimer (CFRP) ile Sarılması

Kolon elemanlarında sürekliliğin ve yapısal bütünlüğün artırılabilmesi için, özellikle kesme ve basınç dayanımlarının yükseltilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda kolonlar; betonarme, çelik veya lifli polimer (FRP) kompozitlerle sarılarak güçlendirilmektedir. Bununla birlikte, söz konusu güçlendirme yöntemleri kolonların kesme ve basınç kapasitelerinde iyileşme sağlarken, eğilme kapasitelerinde belirgin bir artış sağlamamaktadır.

Betonarme yapıların taşıma gücünü ve süneklik özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak başvurulan akılcı, teknolojik ve güncel güçlendirme yöntemlerinden biri lifli polimer (FRP) sargı tekniğidir. Bu yöntemde, yüksek dayanımlı karbon, cam veya aramid liflerinden oluşan polimer kompozit malzemeler Şekil 4'teki gibi yapı elemanlarının çevresine sarmal ya da doğrusal olarak uygulanmaktadır.



Şekil 4. Kolonların lifli polimerler (FRP) ile sarılması

FRP sargılar, beton elemanların basınç ve çekme dayanımlarını artırmakla birlikte, deprem etkileri altında şekil değiştirme kapasitelerinin gelişmesine de katkı sağlamaktadır. Düşük ağırlık, korozyon direnci ve hızlı uygulanabilirlik gibi üstünlükler sahiptir. TBDY 2018 hükümleri ve literatürde yer alan çalışmalar, uygun tasarım ve uygulama koşulları altında FRP sargıların hem eleman bazında taşıma kapasitesini hem de yapı genelinde deprem performansını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır.

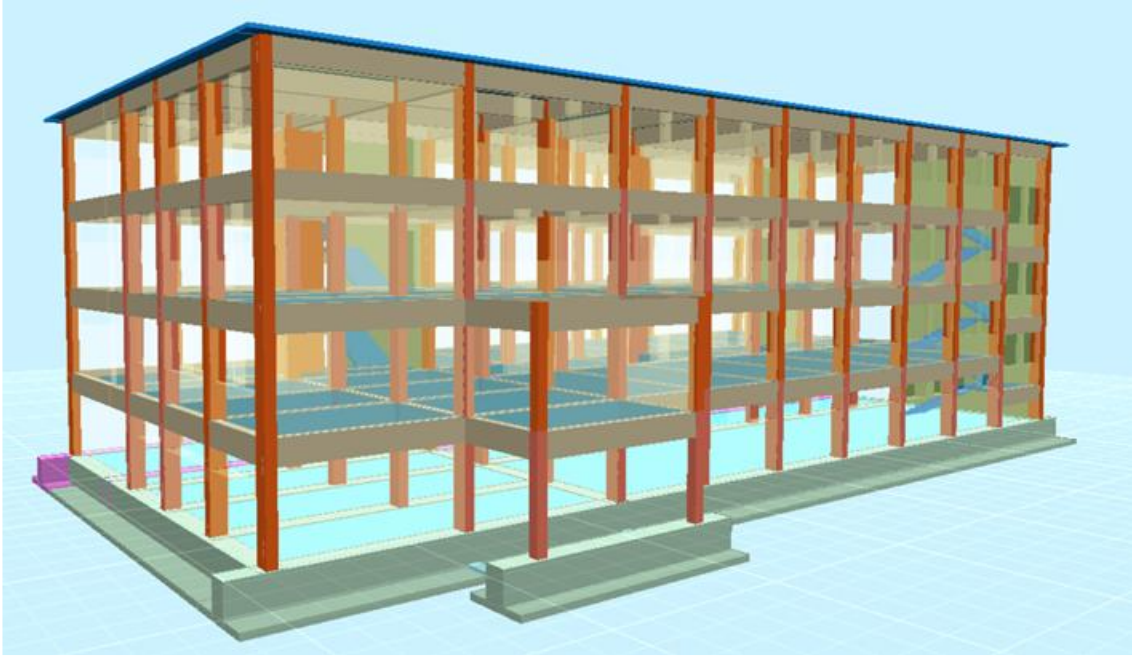
### 3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Örnek olarak bodrum, zemin ve 2 kat olmak üzere toplamda 4 katlı betonarme bir binanın performans analizi TBDY 2018'e göre yapılmış ve iki farklı güçlendirme yöntemi ile değerlendirilmiştir. İncelenen binaya ait bazı özellikler Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2: Binaya ait bazı özellikler

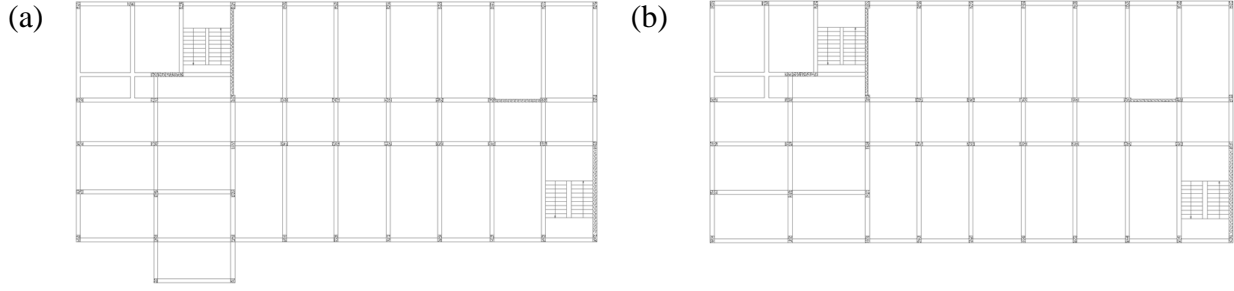
Özellik	Değer
Beton dayanımı	11.11 MPa
Çelik sınıfı	S220
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ( $R_x$ , $R_y$ )	4
Deprem yapı ve davranış katsayısı	4.00
Dayanım fazlalığı katsayısı	2.5
Deprem yapı önem katsayısı	1.5

Planda dikdörtgen biçiminde olan binada kat yükseklikleri tüm katlar için 3.10 m olarak eşit alınmıştır. Üç boyutlu görünümü Şekil 5.'te verilen yapının toplam yüksekliği 12.40 m'dir.



Şekil 5. Mevcut binanın üç boyutlu görünümü

Yapının temel seviyesindeki oturma alanı 37.90 m \* 17.50 m boyutlarındadır. Taşıyıcı sistem; kolon, kiriş, perde ve döşeme elemanlarından oluşmaktadır. Mevcut binanın statik rölövesi Şekil 6 'te verilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutları kolonlarda 30\*50 cm, 30\*30 cm, kirişlerde 30\*70 cm ve perdelerde 20\*630 cm, 30\*630 cm, 20\*325 cm, 30\*235 cm şeklindedir. Döşeme kalınlıkları ise 12 cm olarak alınmıştır.



Şekil 6. Mevcut binanın statik rölövesi (a) bodrum ve zemin kat (b) 1. ve 2. kat

İlgili betonarme binanın zemini ile ilgili özellikler Tablo 3’te verilmektedir.

Tablo 3. Yapının zemin özellikleri

Özellik	Değer
Zemin sınıfı	ZD
Deprem yer hareketi düzeyi	DD-2
Spektrum katsayıları	SDS 0.608
	SD1 0.251
Zemin yatak katsayısı	2000 t/m <sup>3</sup>
Zemin taşıma gücü	18 t/m <sup>2</sup>

Bu çalışma kapsamında ilgili betonarme binaya yeni betonarme perdelerin eklenmesi ve yetersiz kolonlara CFRP sarılarak daha az sayıda yeni betonarme perde ilavesi şeklinde iki farklı senaryo ile güçlendirme çalışması yapılmıştır. Her iki senaryo için tekrar performans analizi yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

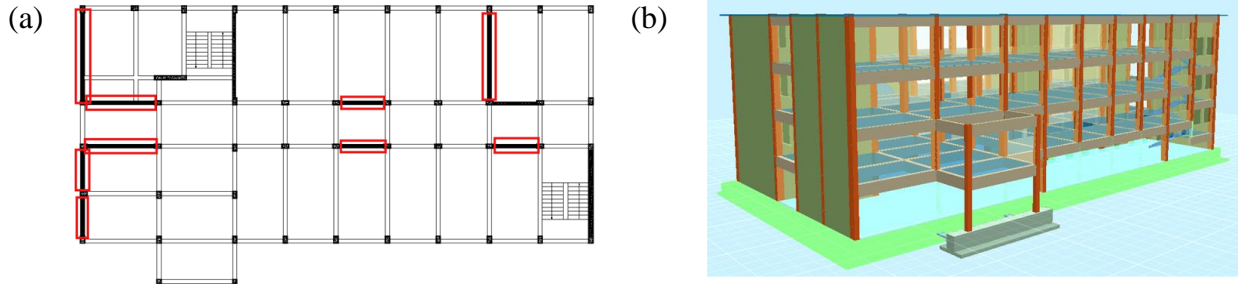
### 3.1 Senaryo 1: Yeni betonarme perde eklenmesi

Mevcut betonarme yapının taşıyıcı sistemine, her iki asal doğrultuda yeterli sayıda yeni betonarme perde elemanının eklenmesi planlanmıştır. Bu düzenleme ile, yatay deprem etkilerinin mevcut taşıyıcı elemanlar ile güçlendirme kapsamında ilave edilen perde elemanları tarafından ortaklaşa karşılanması amaçlanmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esas alınarak tanımlanan mevcut yapıya ait deprem yer hareketi düzeyleri ve performans hedefleri Tablo 4’te sunulmuştur. Bu çerçevede, yapıya eklenen betonarme perdelerin katkısıyla, DD-1 deprem yer hareketi düzeyi altında yapının hedeflenen performans düzeyi olan “Kontrollü Hasar (KH)” seviyesini sağlaması öngörülmektedir.

Tablo 4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Mevcut Yerde Dökme Betonarme Binalar için (Yüksek Binalar dışında –  $BYS \geq 2$ ) Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları (TBDY 2018, Tablo 3.4(c))

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS= 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS= 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Betonarme taşıyıcı sistemlerin, yeni perde elemanları ilavesi ile güçlendirilmesinde, bu perdelerin temelden başlayarak yapı yüksekliği boyunca süreklilik arz edecek şekilde düzenlenmesi temel bir tasarım ilkesidir. Perdelerin herhangi bir katta süreksizliğe uğraması durumunda, deprem etkilerinin katlar arasında ani değişimler göstermesi kaçınılmaz olmakta; bu durum ise yapının genel davranışını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.



Şekil 7. İlave betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapı (a) kalıp planı (b) üç boyutlu görünüm

Bu çalışma kapsamında, ilave edilen betonarme perdelerin, yapı yüksekliği boyunca tüm katlarda sürekliliği sağlanacak şekilde, Şekil 7 'te sunulan kalıp planında belirtilen konumlarda yer alan mevcut çerçeve sistemlere ankraj donatıları aracılığıyla bağlanmıştır. Böylece taşıyıcı sistemin bir bütün olarak davranması hedeflenmiştir. Kalıp planı incelendiğinde, her katta 30 cm kalınlığında toplam 9 adet yeni betonarme perdenin sisteme dahil edildiği görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, güçlendirme sonrası durumda tüm kolon elemanlarının alt ve üst kesitlerinde hasar düzeyinin sınırlı hasar bölgesi içerisinde kaldığı ve minimum hasar sınırının aşılmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, kolon uç bölgelerinde ileri hasar ya da göçme durumuna işaret eden herhangi bir bulguya da rastlanmamıştır. Kullanılan bilgisayar programının Senaryo 1 için bina performans sonucu raporu Şekil 8'te verilmektedir.

BINA PERFORMANS SONUCU:

Sınırlı hasar performans bölgesi durumu, Güçlendirme gerekli değildir.

Sınırlı hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=0.0<=0.30 ✓), (GB=0 ✓)

Kolon Hasar oranı=(IH=0.1<=0.20 ✓), (GB=0 ✓)

Ust kat Vc oranı=(IH=0.0<=0.40 ✓), (GB=0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(BH+IH+GB=0.0<=0.30 ✓)

Şekil 8. Senaryo 1 ile güçlendirilmiş yapı performans sonucu.

Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler neticesinde elde edilen bina performans değerlendirmesi, yapının “Sınırlı Hasar (SH)” performans düzeyini sağladığını ortaya koymaktadır. Kiriş ve kolon elemanlarında gözlenen hasar oranlarının, TBDY 2018’de tanımlanan sınır değerlerin oldukça altında kaldığı; kolonlarda plastik mafsallı oluşumu ve kesme etkileri açısından kritik bir durumun oluşmadığı belirlenmiştir.

Taşıyıcı sistem genelinde hasarın kontrol altında tutulduğu, yatay yüklerin büyük ölçüde perde elemanları tarafından karşılandığı ve sistemin deprem etkileri altında güvenli ve dengeli bir davranış sergilediği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, güçlendirilmiş yapı için ilave bir güçlendirme gereksinimi bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

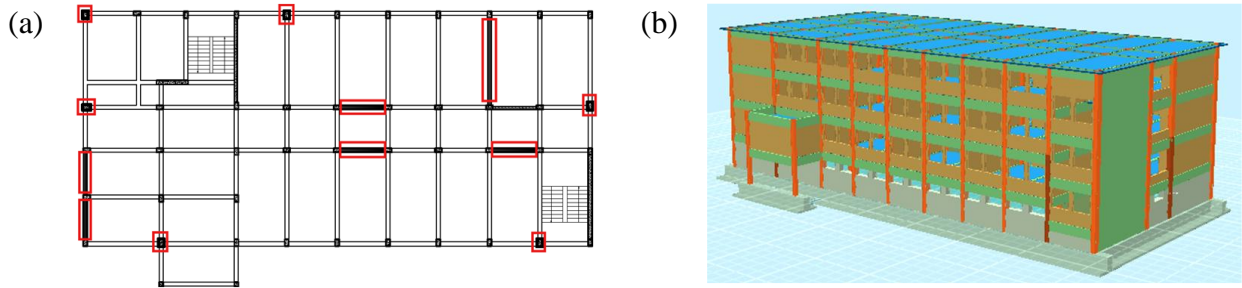
### 3.2 Senaryo 2: Yetersiz kolonlara CFRP sarılması ve azaltılmış perde ilavesi

Mevcut betonarme yapının taşıyıcı sisteminde, deprem etkileri altında yetersiz performans sergilediği tespit edilen kolonların, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kompozitler ile sarılarak güçlendirilmesi öngörülmüştür. Bu kapsamda, Senaryo 1’de her iki ana doğrultuda önerilen betonarme perde ilavesi, söz konusu senaryoda kolonların taşıma gücü ve süneklik kapasitelerinin artırılması esasına dayalı olarak azaltılmıştır. Bu yaklaşım ile, yatay deprem yüklerinin karşılanmasında yalnızca perde elemanlarının değil, aynı zamanda CFRP ile güçlendirilmiş kolonların da daha etkin biçimde sisteme katkı sağlaması amaçlanmıştır.

TBDY 2018 hükümleri doğrultusunda gerçekleştirilen analizler sonucunda, mevcut taşıyıcı sistem içerisinde özellikle eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti etkileri altında yetersiz performans sergileyen kolon elemanları tespit edilmiş ve bu elemanların karbon lif takviyeli polimer (CFRP) ile sarılarak güçlendirilmesi öngörülmüştür (Şekil 9). Uygulanan CFRP sargı yöntemi ile kolon beton çekirdeğinde etkin bir yanal sargılama sağlanması; bu sayede betonun basınç dayanımının ve şekil değiştirme kapasitesinin artırılması, boyuna donatıların burkulmasının geciktirilmesi ve kesme hasarı oluşma olasılığının azaltılması hedeflenmiştir.

Bu güçlendirme yaklaşımı kapsamında, kolonların deprem etkileri altında süneklik düzeyinin artırılması ve plastik şekil değiştirmelerin önceden öngörülen kontrollü bölgelerde yoğunlaşmasının sağlanması suretiyle, taşıyıcı sistemin genel deprem performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Kolon kapasitelerinde sağlanan bu artış doğrultusunda, Senaryo 1’de öngörülen perde sayısı azaltılmış; buna karşın yapının yatay rijitliği ile yük taşıma kapasitesinin, TBDY 2018’de tanımlanan performans hedeflerini karşılayacak seviyede korunması hedeflenmiştir.

TBDY 2018 kapsamında tanımlanan deprem yer hareketi düzeyleri ve performans hedefleri esas alınarak gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda, yetersiz olduğu belirlenen kolonlarda uygulanan CFRP sarımı ile azaltılmış perde yerleşimi sayesinde, DD-1 deprem yer hareketi düzeyi altında yapının hedeflenen performans düzeyi olan “Kontrollü Hasar” seviyesine ulaşması öngörülmektedir. Bu yaklaşımla, taşıyıcı sistemde aşırı rijitlik artışının ve buna bağlı düzensizliklerin oluşması önlenirken, kolon ve perde elemanları arasında daha dengeli ve etkin bir yük dağılımı sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 9. CFRP ile kolon sarımı ve azaltılmış perde ilavesi ile güçlendirilmiş yapı (a) kalıp planı (b) üç boyutlu görünüm

Yapılan analizler sonucunda, güçlendirme sonrasında tüm kolon elemanlarının alt ve üst kesitlerinde “Sınırlı Hasar (SH)” bölgesinde kaldığı ve herhangi bir elemanda minimum hasar sınırının aşılmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kolon uç bölgelerinde “İleri Hasar (İH)” veya “Göçme Bölgesi (GB)” düzeyine ulaşan herhangi bir kesit gözlenmemiştir.

Bu bulgular, uygulanan güçlendirme yönteminin kolon uçlarındaki kesme taleplerini etkin bir şekilde sınırladığını ve taşıyıcı sistemin genel olarak güvenli hasar sınırları içerisinde davrandığını göstermektedir. Kullanılan bilgisayar programının senaryo 2 için bina performans sonucu raporu Şekil 10’te verilmektedir.

**BINA PERFORMANS SONUCU:**

Sınırlı hasar performans bölgesi durumu, Güçlendirme gerekli değildir.

Sınırlı hasar performans bölgesi yeterlilik kontrolü:

Kiriş Hasar oranı=(IH=0.0<=30 ✓), (GB=0 ✓)

Kolon Hasar oranı=(IH=0.0<=20 ✓), (GB=0 ✓)

Üst kat Vc oranı=(IH=0.0<=40 ✓), (GB=0 ✓)

Plastiklesen kolon Vc oranı=(BH+IH+GB=0.0<=30 ✓)

Şekil 10. Senaryo 2 ile güçlendirilmiş yapı performans sonucu.

Senaryo 2 kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucunda, yapının performans düzeyinin “Sınırlı Hasar (SH)” olduğu belirlenmiş ve bu doğrultuda ilave bir güçlendirme gereksiniminin ortadan kalktığı değerlendirilmiştir. Yeterlilik kontrollerine göre, kiriş elemanlarında ileri hasar oranı %0 seviyesine düşerek yönetmelikte tanımlanan %30 sınırının altında kalmıştır. Benzer şekilde, kolon elemanlarında ve üst kat kolonlarında ileri hasar oranı %0 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, plastik mafsallı oluşan kolon kesitlerine ait kesme kuvveti oranı (BH+İH+GB) %0 olup, bu değer de %30 sınırının altındadır.

Mevcut durumda kolonlarda %52.6, kirişlerde ise %2.9 oranında ileri hasar gözlenirken; güçlendirme sonrasında bu oranların tamamen ortadan kalkarak %0 seviyesine indiği belirlenmiştir. Bu bulgu, ilave perde elemanları ile FRP uygulamasının taşıyıcı sistem rijitliğini artırdığını, iç kuvvet dağılımını daha dengeli hale getirdiğini ve plastik mafsallı oluşumunu önemli ölçüde sınırladığını göstermektedir. Senaryo 2'nin uygulanması sonucunda, yapı davranışının göçme bölgesi seviyesinden sınırlı hasar performans düzeyine yükseltildiği ortaya konulmuştur.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, mevcut bir betonarme binanın deprem performansı TBDY 2018 esaslarına göre değerlendirilmiş ve iki farklı güçlendirme yöntemi teknik açıdan karşılaştırılmıştır.

Mevcut durumda yapının, düşük beton dayanımı, yetersiz donatı özellikleri ve eski yönetmeliklere göre tasarlanmış olması nedeniyle deprem performansının yetersiz olduğu ve özellikle kolon elemanlarında yüksek oranlarda ileri hasar olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yapının deprem güvenliği açısından risk taşıdığını açıkça ortaya koymaktadır.

Senaryo 1 kapsamında yalnızca yeni betonarme perde ilavesi ile gerçekleştirilen güçlendirme sonucunda, yapının yatay rijitliği ve taşıma kapasitesi önemli ölçüde artırılmıştır. Analiz sonuçları, tüm taşıyıcı elemanların hasar düzeylerinin “Sınırlı Hasar (SH)” seviyesinde kaldığını ve sistemin deprem etkileri altında dengeli bir davranış sergilediğini göstermiştir.

Perdelerin yük paylaşımındaki etkin rolü sayesinde, kolon ve kirişlerde kritik hasar oluşumu engellenmiş ve hedeflenen performans düzeyi sağlanmıştır.

Senaryo 2 kapsamında ise, yetersiz kolonların CFRP ile sarılması ve perde sayısının azaltılması esasına dayalı hibrit bir güçlendirme yaklaşımı uygulanmıştır. Bu yöntemde, kolonların süneklik ve taşıma kapasitesindeki artış sayesinde, sistemde daha dengeli bir iç kuvvet dağılımı sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu senaryoda da yapının “Sınırlı Hasar (SH)” performans düzeyine ulaştığını ve ileri hasar oranlarının %0 seviyesine düşürüldüğünü göstermiştir.

İki senaryonun karşılaştırılması sonucunda, her iki yöntemin de yapının deprem performansını hedeflenen düzeye ulaştırmada başarılı olduğu belirlenmiştir. Ancak, CFRP ile kolon güçlendirmesi ve azaltılmış perde kullanımını içeren Senaryo 2, daha az müdahale ile benzer performans düzeyine ulaşılması açısından mühendislik ve ekonomi bakımından daha avantajlı bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, hem yapısal elemanların etkin kullanımını sağlamakta hem de aşırı rijitlik artışına bağlı olumsuzlukları sınırlandırmaktadır.

Sonuç olarak, mevcut betonarme yapıların güçlendirilmesinde yalnızca rijitlik artırıcı yöntemlerin değil, aynı zamanda eleman bazlı kapasite ve süneklik artırıcı tekniklerin birlikte kullanıldığı bütüncül yaklaşımların daha etkin olduğu görülmektedir. Bu tür hibrit güçlendirme stratejileri, özellikle eski yapı stokunun yaygın olduğu deprem bölgelerinde güvenli, ekonomik ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Çimen, G. (2018). *Yapı Güçlendirme Maliyetine Hızlı Yaklaşım Metodu Geliştirilmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Efe, Y., & Bedirhanoglu, İ. (2024). Betonarme Perde Duvarların Eğilme ve Kesme Etkilerine Karşı Güçlendirilmesi Üzerine Literatür Değerlendirmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 15(3), 663–675. <https://doi.org/10.24012/dumf.1420105>
- Karabacak, S. (2020). *Betonarme Bir Binada Geleneksel Yöntem Ve Taban Yalıtım İle Güçlendirme Yönteminin Karşılaştırılması*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Kocabey, E. Ç. (2017). *Mevcut Betonarme Binalarda Kullanılan Güçlendirme Yöntemlerinin Hasar Olasılığı Bağlamında Değerlendirilmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Navdar, M. B. (2020). *Betonarme Manto ve CFRP İle Güçlendirilen Yetersiz Kesme Dayanımına Sahip Kolonların Doğrusal Olmayan Analizi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Parlakoğlu, H. (2010). *3-6 Katlı Betonarme Çerçeve Binaların Karbon Takviyeli Elyaf İle Güçlendirilmesi Ve Diğer Güçlendirme Yöntemleri İle Maliyetlerinin Karşılaştırılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Eğitim Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- Şahin, Y. (2019). *Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi Ve Çelik Güçlendirme Önerileri*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- Sanrı, M. (2015). *Farklı Tekniklerle Güçlendirilen Betonarme Yapıların Güçlendirme Maliyetlerinin Karşılaştırılması*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek lisans Tezi.
- Shujairı, M. R. H. (2023). *Kırıkkale İli'ndeki Betonarme Eğitim Kurumlarına Yapılan Güçlendirme Uygulamalarının Analizi*. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler ABD, Yüksek lisans Tezi.
- Tatar, G. (2025). *12 Derslikli Tıp Okul Binalarının Lişli Polimer (FRP) Yardımıyla Yapısal Güçlendirilmesi ve Fayda/Maliyet Analizi Değerlendirmesi*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi.
- Turan, M. E. (2022). *Mevcut Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi İle Belirlenmesi, Güçlendirme Önerileri Ve Maliyet Analizi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek lisans Tezi.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği TBDY 2018, 30364 Resmi Gazete (2018).
- Yakut, A., & Binici, B. (2023). Ülkemizdeki Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(4), 220–237.  
<https://dergipark.org.tr/pub/csid/article/1292183>
- Yalçın, E. (2023). *8 Derslikli Tıp Okul Binalarının Farklı Malzeme Özellikleri Dikkate Alınarak Güçlendirme Maliyetlerinin Araştırılması*. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, Yüksek lisans Tezi.

## **GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF HOST ROCKS ASSOCIATED WITH THE AKTEPE IRON MINERALIZATION (NORTHEASTERN AKSARAY, TÜRKİYE)**

**Mustafa Haydar TERZİ**

Aksaray University, Department of Geological Engineering, Aksaray, Türkiye

**ORCID:** 0000-0003-4224-6482

### **ABSTRACT**

This study aims to characterize the geological and mineralogical-petrographic properties of the host rocks associated with the Aktepe iron mineralization. The mineralization is located approximately 20 km northeast of Aksaray city center and geologically lies in the southwestern part of the Central Anatolian Crystalline Complex (CACC). In the study area, from oldest to youngest, Paleozoic metamorphic rocks represented by marbles, Upper Cretaceous ophiolitic rocks represented by gabbros, granitoids represented by granite and granodiorite composition, and Middle Miocene-Pliocene cover units are exposed. The marbles are white in color and display fractured-jointed characteristics; microscopically, they consist of medium- to coarse-grained, subhedral to anhedral calcite crystals. Gabbros, which tectonically overlie metamorphic units, are dark greenish to blackish in color, fine- to medium-grained, locally coarse-grained, and exhibit a hard and compact texture. They are mainly composed of plagioclase, hornblende, pyroxene, and opaque minerals. The granitoids, represented by whitish to pinkish colored granites and granodiorites, predominantly exhibit a phaneritic texture and locally display a porphyritic-phaneritic texture due to the presence of coarse-grained alkali feldspar. These rocks microscopically exhibit a holocrystalline granular texture and contain varying proportions of subhedral quartz, plagioclase, orthoclase, hornblende, biotite, titanite, and opaque minerals. The granitoids intruded both the marbles and the gabbros; particularly at their contacts with the marbles, a narrow skarn zone developed as a result of contact metamorphism. This zone hosts subeconomic magnetite mineralization. These preliminary findings suggest that the iron mineralization in the region is associated with skarn-forming processes resulting from the interaction between granitoids and carbonate (marble) rocks.

**Keywords:** Iron mineralization, skarn, granitoid, marble, Central Anatolia.

### **AKTEPE DEMİR CEVHERLEŞMESİ (KUZEYDOĞU AKSARAY, TÜRKİYE) İLE İLİŞKİLİ YAN KAYAÇLARIN JEOLJİK VE MİNERALOJİK ÖZELLİKLERİ ÖZET**

Bu çalışma Aktepe demir cevherleşmesiyle ilişkili yan kayaçların jeolojik ve mineralojik-petrografik özelliklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Söz konusu cevherleşme coğrafi olarak Aksaray şehir merkezinin yaklaşık 20 km kuzeydoğusunda, jeolojik olarak ise Orta

Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK)'nin güneybatısında yer almaktadır. Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru; mermerler ile temsil edilen Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, gabrolar ile temsil edilen Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalar ve granit-granodiyorit bileşimli granitoidler ile Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı örtü birimleri yüzeylenmektedir. Mermerler, beyaz renkli, kırık-çatlaklı olup mikroskobik olarak orta-iri taneli ve yarı özşekilli-özşekilsiz kalsitlerden oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerinde tektonik dokanak ile yer alan gabrolar, koyu yeşilimsi-siyahımsı renklerde, ince-orta taneli yer yer iri taneli ve sert yapıdadır. Bunlar başlıca plajiyoklaz, hornblend, piroksen ve opak minerallerden oluşmaktadır. Beyazımsı-pembemsi renklerde granit ve granodiyoritlerle temsil edilen granitoidler çoğunlukla faneritik doku bazı kesimlerde iri taneli alkali feldispatların varlığına bağlı olarak porfirofaneritik doku sergilemektedir. Bu kayalar mikroskobik olarak holokristalin taneli dokuda olup değişen oranlarda yarıözşekilli kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, hornblend, biyotit, titanit ve opak mineraller içermektedir. Granitoidler çalışma alanında hem mermerleri hem de gabroları sıcak dokanakla keserek yerleşmiş olup, özellikle mermerlerle olan dokanaklarında kontak metamorfizma etkisiyle dar bir zon boyunca skarnlaşma gelişmiştir. Bu zon ekonomik olmayan manyetit cevherleşmesine ev sahipliği yapmaktadır. Bu ilksel bulgular bölgedeki demir cevherleşmesinin granitoid ve karbonat (mermer) kayaları arasındaki etkileşime bağlı olarak gelişen skarnlaşma süreçleriyle ilişkili olduğuna işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Demir cevherleşmesi, skarn, granitoid, mermer, Orta Anadolu.

## 4-6 YAŞ ÇOCUKLAR İÇİN EĞİTİCİ OYUNCAK TASARIMINDA 3B YAZICI TEKNOLOJİSİNİN ROLÜ

### **Sena BİCAN**

Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Design Engineering, 37150 Safranbolu, Karabük

**ORCID ID:** 0000-0001-5303-3680

### **Doç. Dr. Cemal ÖZCAN**

Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Design Engineering, 37150 Safranbolu, Karabük

**ORCID ID:** 0000-0001-6583-4143

### **ÖZET**

Okul öncesi dönem, çocukların bilişsel, motor ve sosyal-duygusal gelişimlerinin hızla ilerlediği kritik bir süreçtir. Özellikle 4–6 yaş aralığında gelişimsel farklılıklar belirginleşmesine rağmen, mevcut oyuncak tasarımlarının bu farklılıkları yeterince dikkate almadığı görülmektedir. Bu çalışma, 4–6 yaş grubu çocuklara yönelik eğitici oyuncak tasarımında mevcut ürün yaklaşımlarını analiz ederek, 3B yazıcı teknolojisinin sunduğu olanakları değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında küresel ve yerel pazardan seçilen 15 oyuncak markası; yaş segmentasyonu, ürün sınıflandırma yaklaşımları ve gelişim alanlarına katkıları açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, markaların çoğunlukla standart ve sınırlı sınıflandırma yaklaşımları benimsediğini ve gelişim alanlarını bütüncül biçimde ele almadığını göstermektedir. Bu doğrultuda, 3B yazıcı teknolojisinin sunduğu hızlı prototipleme, esnek üretim ve kişiselleştirme olanaklarının, çocukların bireysel gelişim ihtiyaçlarına daha uygun oyuncak tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Eğitici oyuncak, 4-6 yaş, 3B yazıcı, Kavramsal tasarım

### **THE ROLE OF 3D PRINTING TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF EDUCATIONAL TOYS FOR CHILDREN AGED 4-6**

### **ABSTRACT**

The preschool years represent a critical period during which children's cognitive, motor, and social-emotional development progresses rapidly. Although developmental differences become particularly pronounced between the ages of 4 and 6, it is evident that current toy designs do not sufficiently account for these differences. This study aims to analyze current product approaches in the design of educational toys for children aged 4–6 and evaluate the opportunities offered by 3D printing technology. Within the scope of the research, 15 toy brands selected from global and local markets were comparatively examined in terms of age segmentation, product classification approaches, and their contributions to developmental areas. The findings indicate that most brands adopt standard and limited classification

approaches and do not address developmental areas in a holistic manner. Accordingly, it was concluded that the rapid prototyping, flexible production, and personalization capabilities offered by 3D printing technology could contribute to the development of toy designs better suited to children's individual developmental needs.

**Keywords:** Educational toy, Ages 4–6, 3D printer, Conceptual design

## 1. GİRİŞ

Okul öncesi dönem, çocukların bilişsel, motor, dil ve sosyal-duygusal gelişimlerinin hızlı bir şekilde ilerlediği ve yaşam boyu öğrenme becerilerinin temellerinin atıldığı kritik bir dönemdir. Özellikle 4-6 yaş, çocukların problem çözme, yaratıcılık, sembolik düşünme ve çevreyle etkileşim kurma becerilerinin belirgin biçimde geliştiği dönem olarak tanımlanmaktadır. Piaget'in bilişsel gelişim kuramına göre 4-6 yaş aralığı, "İşlem Öncesi Dönem" in son aşamasına denk gelmektedir. Bu dönemde çocuklar, sembolik oyunlar yoluyla dünyayı anlamlandırır ve nesnelere kurdukları fiziksel temas zihinsel şemalarının oluşumunda ve gelişiminde büyük rol oynamaktadır (Piaget, 1962; Berk, 2013).

Oyun ve oyuncak, çocukların iletişim kurmasını, öğrenmesini ve gelişimini destekleyen en temel araçlardır. Oyun, okul öncesi dönemde çocukların kendi yeteneklerini keşfetmelerine olanak tanıyan, yaratıcılıklarını ortaya koyabildikleri temel bir etkinliktir. Bu etkinlik süreciyle birlikte dil becerileri, motor gelişimleri, bilişsel ve duygusal gelişimlerini bütüncül olarak desteklenmektedir. Oyun sürecinde oyuncaklar ise çocuğun gelişim özelliklerine uygun olarak hareketlerini düzenleyen, zihinsel ve fiziksel becerilerinin gelişimine katkı sağlayan, aynı zamanda hayal gücü ve düşünme becerisini destekleyen önemli araçlar olarak tanımlanmaktadır (Elibol vd., 2006).

Mevcut oyuncak piyasasında, ticari kaygıların bir sonucu olarak çizgi film karakterleri ve eğlence odaklı elektronik ürünler öne çıkmaktadır. Ancak bu eğilim, çocukların bilişsel ve psikomotor gelişimini destekleyen eğitim materyallerinin eksikliği beraberinde getirmektedir. Şehirleşme ve dijitalleşme süreçleri geleneksel oyun alanlarını daraltırken, çocukların vaktinin büyük bir kısmını ekran başında geçirmesi çeşitli psikososyal sorunlara zemin hazırlamaktadır (Yiğit & Alat, 2022). Bu nedenle eğitici oyuncak, öğrenme sürecini eğlence argümanları ile birleştirerek çocuk gelişimine katkı sağlayan kritik bir araç haline gelmiştir. Ancak eğitici oyuncakların piyasadaki mevcudiyeti kadar, bu araçların hangi tasarım yaklaşımlarıyla geliştirildiği ve çocukların özgün ihtiyaçlarına ne ölçüde yanıt verdiği de önemli bir tartışma konusudur.

Ebeveynler, çocuklarına nitelikli deneyimler sunabilmek amacıyla oyuncak seçiminde “eğitici değer” kriterine giderek daha fazla önem vermektedir. Bununla birlikte, piyasada “eğitici” etiketiyle sunulan birçok oyuncuğun hangi gelişimsel becerileri ne ölçüde desteklediği ve bu iddiaların bilimsel temellere dayanıp dayanmadığı çoğu zaman belirsizliğini korumaktadır (Miller & Almon, 2009). Literatürdeki çalışmalar, ebeveynlerin piyasadaki mevcut oyuncakları çocuklarının gerçek bilişsel potansiyelinin ve gelişimsel düzeyinin altında bulunduğunu, bu materyallerin çocukları yeterince zorlamayan veya kısa sürede tüketilen yüzeysel içeriklere sahip olduğunu düşündüklerini göstermektedir (Aksoy & Baran, 2017). Benzer özelliklere sahip ürünlerin farklı marka ve isimlerle pazarlanmasının yarattığı dezenformasyon, ebeveynlerin gelişim düzeyine uygun materyal seçme konusundaki kaygılarını daha da artırmaktadır.

Eğitici oyuncak tasarımında çocukların yaşa bağlı gelişimsel farklılıklarının dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Bu önemin aksine literatürde 4–6 yaş aralığındaki çocukların çoğunlukla homojen bir kullanıcı grubu olarak ele alındığı görülmektedir. Oysa güncel çalışmalar, bu yaş aralığında çocukların erken okuryazarlık, yürütücü işlevler ve sosyal-duygusal beceriler gibi birçok gelişim alanında farklı performans düzeyleri sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, aynı yaş grubundaki çocuklar arasında dahi belirgin gelişimsel farklılıkların bulunduğunu göstermekte ve tasarım süreçlerinde kullanıcı odaklı yaklaşımların benimsenmesinin gerekliliği belirtilmiştir (Pushparatnam vd., 2021).

Oyuncak üretiminde kullanılan geleneksel imalat yöntemleri (enjeksiyon kalıplama, döküm vb.), yüksek kalıp maliyetleri ve uzun üretim döngüleri nedeniyle genellikle yüksek adetli ve standart formlu ürünlerle sınırlı kalmaktadır (Çelik vd., 2013). Bu durum, 4–6 yaş grubunun gelişimsel heterojenliğini göz ardı eden, homojen ürünlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Norman’ın (2013) "sağlamlık" teorisi perspektifinden bakıldığında, geleneksel üretimin beraberinde getirdiği tasarım kısıtları, çocuğun nesneyle kuracağı sezgisel etkileşimi ve ince motor gelişimini destekleyecek karmaşık formların hayata geçirilmesini zorlaştırmaktadır (Bahri vd., 2023). Ayrıca Druin (1999) tarafından önerilen "çocuk merkezli tasarım" modelinde ihtiyaç duyulan sürekli geri bildirim ve hızlı prototipleme süreçleri, geleneksel yöntemlerin rijit yapısı nedeniyle maliyetli ve yavaş kalmaktadır. Buna karşın 3B yazıcı teknolojileri, sunduğu geometrik özgürlük ve düşük maliyetli kişiselleştirme imkanlarıyla bu kısıtları ortadan kaldırmaktadır (Ngo vd., 2018). Vygotsky’nin (1978) "Yakınsal Gelişim Alanı" teorisine paralel olarak, 3B yazıcılar oyuncuğun zorluk seviyesinin veya ergonomik formunun çocuğun bireysel ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesine olanak tanımaktadır. Tasarımcıya sunulan hızlı

iterasyon kabiliyeti sayesinde elde edilen verilerin anında fiziksel ürünlere yansıtılmasını ve Piaget'nin (1962) vurguladığı sembolik oyun deneyimini zenginleştirecek, biyobozunur ve güvenli (PLA) materyallerin kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Farah vd., 2016).

Bu çalışmanın temel amacı, 4–6 yaş grubu çocukların heterojen gelişim özelliklerinin mevcut oyuncak tasarımlarında yeterince dikkate alınmaması sorununa odaklanarak, bu yaş grubuna uygun eğitici oyuncakların tasarımında 3B yazıcı teknolojisinin sunduğu olanakları analiz etmektir. Bu kapsamda, küresel ve yerel pazarda faaliyet gösteren toplam 15 oyuncak markası incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda mevcut oyuncak tasarım yaklaşımları ortaya konulmuş ve 3B yazıcı teknolojisinin bu alandaki potansiyeli değerlendirilmiştir.

## **2. EĞİTİCİ OYUNCAK TASARIMINDA MEVCUT ÜRÜN YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

Yapılan çalışma kapsamında oyuncak tasarımında mevcut yaklaşımları incelemek amacıyla küresel ve yerel pazarda öne çıkan oyuncak firmaları incelenmiştir. İnceleme sürecinde oyuncaklar yaş gruplarına göre sınıflandırılmış, özellikle 4–6 yaş aralığına yönelik ürünler detaylı olarak ele alınmış ve markaların ürünleri gelişim alanlarına göre karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Eğitici oyuncak alanında farklı tasarım yaklaşımlarını, üretim biçimlerini ve malzeme kullanım stratejilerini karşılaştırmalı olarak ortaya koyabilecek bir çeşitlilik sağlamak amacıyla, sektörde yaygın olarak bilinen ve farklı ürün geliştirme anlayışlarını temsil eden markalardan oluşan bir örneklem oluşturulmuş; bu doğrultuda çalışmada toplam 15 marka ele alınmıştır. Bu kapsamda araştırma kapsamına 12 küresel oyuncak markası ve 3 yerel oyuncak markası dahil edilmiştir. Araştırma kapsamına dahil edilen markalar küresel ölçekte LEGO, Hasbro, Mattel şirketi bünyesinde bulunan Fisher-Price, Spin Master bünyesinde bulunan Melissa & Doug ve Ms. Rachel, Ravensburger, VTech, Fat Brain Toys, Djeco, Plan Toys, Hape ve Learning Resources; yerel ölçekte ise Pilsan, Dede Toys ve Zuzu Toys markalarıdır.

### **2.1. Yaş Gruplarına Göre Oyuncakların Analizi**

Çalışmaya dahil edilen 15 adet eğitici oyuncak üreticisinin ürünlerini hangi yaş aralıklarına göre sınıflandırdığı incelenmiştir. Oyuncak tasarımında yaş gruplarına yönelik segmentasyon, çocukların bilişsel, motor ve algısal gelişim düzeylerine uygun ürün geliştirilmesi açısından önemli bir kriterdir. Çalışma kapsamında analiz edilen markaların hedef yaş aralıkları ve bu aralıkları nasıl alt gruplara ayırdıkları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Elde edilen veriler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Markaların Hedef Yaş Aralığı ve Yaş Segmentasyonu

Marka	Hedef Yaş Aralığı	Segmentasyon Yaklaşımı
<b>LEGO</b>	1-18+	Geniş yaş aralığı
<b>Hasbro</b>	0-13+	Yaş gruplu
<b>Fisher Price</b>	0-5+	Detaylı
<b>Melissa &amp; Doug</b>	0-8	Yaş gruplu
<b>Ms. Rachel</b>	0-3+	Sınırlı
<b>Pilsan</b>	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
<b>Ravensburger</b>	0-12	Yaş gruplu
<b>Vtech</b>	0-8	Karma
<b>Fat Brain Toys</b>	0-65+	Çok detaylı
<b>Djeco</b>	0-7+	Yaş gruplu
<b>Plan Toys</b>	0-3+	Ay bazlı
<b>Hape</b>	0-4	Yaş gruplu
<b>Learning Resources</b>	18 ay-8+	Yaş gruplu
<b>Dede Toys</b>	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
<b>Zuzu Toys</b>	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş

Tablo 1 incelendiğinde, oyuncak markalarının hedef yaş aralıkları ve yaş segmentasyonu yaklaşımlarının farklılaştığı ve bu konuda standart bir sistemin bulunmadığı görülmektedir. Markaların büyük bir kısmı geniş yaş aralıklarına hitap eden ürün grupları sunarken, yaş segmentasyonunun detay düzeyi markadan markaya değişiklik göstermektedir.

İncelenen markalar arasında yaş segmentasyonuna yönelik sınıflandırma yaklaşımlarının farklılaştığı dikkat çekmektedir. LEGO ve Djeco gibi markalar daha genel yaş grupları üzerinden sınıflandırma yaparken, Fisher-Price ve Fat Brain Toys gibi markaların daha detaylı ve kademeli segmentasyon yaklaşımları benimsediği görülmektedir. VTech markasında ise ay ve yaş bazlı karma bir sistemin kullanıldığı anlaşılmaktadır. Buna karşılık, bazı yerel markalarda yaş segmentasyonuna ilişkin bilginin bulunmaması, kullanıcı yönlendirme açısından sınırlılık oluşturmaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, oyuncak markalarının yaş segmentasyonu konusunda farklı stratejiler benimsediği, ancak bu stratejilerin çoğunlukla standartlaşmadığı ve özellikle 4-6 yaş aralığındaki çocukların gelişimsel farklılıklarını ayrıntılı biçimde ele alan bir yaklaşımın sınırlı olduğu görülmektedir.

## 2.2 Oyuncak Markalarının Sınıflandırma Yaklaşımlarının Karşılaştırmalı Analizi

Bu çalışma kapsamında incelenen oyuncak markalarının ürünlerini hangi kriterlere göre sınıflandırdıklarını ortaya koymak amacıyla karşılaştırmalı bir analiz yapılmıştır. Bu doğrultuda, markaların ürün kategorileri; yaş, ürün türü, oyun türü, gelişim alanı ve ilgi alanı gibi temel sınıflandırma yaklaşımları üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca, markaların ürün

geliştirme süreçlerindeki önceliklerini ortaya koymak amacıyla “temel odak” boyutu da analize dahil edilmiştir.

İnceleme sürecinde, oyuncak markalarının ürünlerini sınıflandırırken farklı kriterleri farklı düzeylerde kullandıkları belirlenmiştir. Bu kapsamda, Tablo 2’de incelenen markaların söz konusu sınıflandırma yaklaşımlarını hangi düzeyde benimsedikleri (yüksek düzey / sınırlı

Sınıflandırma Yaklaşımı	LEGO	Hasbro	Fisher Price	Melissa & Doug	Ms. Rachel	Ravensburger	Vtech	Fat Brain Toys	Djeco	Plan Toys	Hape	Learning Resources	Dede Toys	Zuzu Toys	Pilsan
Yaşaya Göre	●	○	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
Ürün Türüne Göre	○	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Gelişim Alanına Göre	●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○
İlgi Alanına Göre	●	○	○	●	○	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○
Oyun Türüne Göre	●	●	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Temel Odak	Eğlence & aksiyon	Erken çocukluk	Açık uçlu oyun	Gelişim becerileri	Puzzle & oyun	Elektronik öğrenme	Duyusal & motor	Sanat & tasarım	Sürdürülebilir	Doğal oyun	Akademik öğrenme	Temel oyuncak	Genel oyuncak	Fiziksel oyun	Yapı & yaratıcılık

düzye) karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**Tablo 2.** Oyuncak Markalarının Ürün Sınıflandırma Yaklaşımlarının Karşılaştırılması

*Not: Değerlendirmede kullanılan semboller; oyuncak markalarının ilgili sınıflandırma yaklaşımına verdikleri önemi ve kullanım düzeyini ifade etmektedir (●: yüksek düzeyde/temel odak, ○: sınırlı düzeyde/ikincil kullanım).*

Tablo 2 incelendiğinde, LEGO ve Hasbro gibi markaların sınıflandırmalarında daha çok ürün türü ve oyun türü odaklı bir yaklaşım benimsediği görülmektedir. Buna karşılık, Fisher Price, VTech ve Fat Brain Toys gibi markalarda yaş ve gelişim alanına dayalı sınıflandırmaların daha belirgin olduğu dikkat çekmektedir. Melissa & Doug, Learning Resources ve Plan Toys ise beceri ve öğrenme odaklı daha pedagojik bir sınıflandırma yaklaşımı sergilemektedir. Yerel markalar olan Pilsan, Dede Toys ve Zuzu Toys incelendiğinde, sınıflandırmanın daha çok ürün türü ve kullanım alanı üzerinden yapıldığı; gelişimsel kriterlerin ise daha sınırlı düzeyde yer aldığı görülmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, küresel markaların daha çok çok boyutlu (yaş, beceri ve içerik odaklı) sınıflandırma yaklaşımlarını benimsediği; yerel markaların ise daha çok ürün temelli ve tek boyutlu bir yapı sergilediği anlaşılmaktadır.

### 2.3. Oyuncak Markalarının Gelişim Alanlarına Göre Karşılaştırmalı Analizi

Bu bölümde, incelenen oyuncak markalarının ürünleri, çocukların farklı gelişim alanlarını destekleme düzeyleri açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Değerlendirme sürecinde bilişsel gelişim, motor beceriler, yaratıcılık, sosyal-duygusal gelişim, STEM odaklı öğrenme, duyuşsal gelişim ve oyun yapısı gibi temel gelişim alanları esas alınmıştır. Her bir markanın bu alanlara katkısı, belirlenen alt beceriler üzerinden incelenmiş ve destekleme düzeyleri sınıflandırılarak Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Oyuncak Markalarının Gelişim Alanlarına Göre Karşılaştırmalı Analizi

Gelişim Alanı	Alt Beceriler	LEGO	Hasbro	Fisher Price	Melissa & Doug	Ms. Rachel	Ravensburger	Vtech	Fat Brain Toys	Djeco	Plan Toys	Hape	Learning Resources	DeDe Toys	Zuzu Toys	Pilsan
Bilişsel Gelişim	Problem çözme, mantık, hafıza	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○
Motor Beceriler	İnce motor, kaba motor, koordinasyon	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	●	○	●	○	●
Yaratıcılık ve İfade	Açık uçlu oyun, üretim	●	○	○	●	○	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○
Sosyal ve Duygusal	Rol yapma, iş birliği	○	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	○	●
STEM ve Analitik	Matematik, mekanik	●	○	○	○	○	●	●	○	○	●	●	●	○	○	○
Duyusal Gelişim	Görsel, dokunsal, işitsel	○	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○
Oyun Yapısı	Kurallı / serbest oyun	●	●	○	●	○	●	○	●	●	●	●	●	○	●	●

*Not: Değerlendirmede kullanılan semboller; oyuncak markalarının ilgili gelişim alanlarını destekleme düzeylerini ifade etmektedir (●: güçlü, ○: kısmi, ○: zayıf/yok).*

Tablo 3 incelendiğinde, oyuncak markalarının farklı gelişim alanlarını destekleme düzeylerinde belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bilişsel gelişim alanının incelenen markaların büyük çoğunluğu tarafından desteklendiği görülürken, özellikle STEM ve yaratıcılık odaklı markalarda bu desteğin daha güçlü olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşılık, motor beceriler ve duyuşsal gelişim alanlarında bazı markaların sınırlı kaldığı; özellikle dijital ve masa oyunu ağırlıklı ürünlerde fiziksel etkileşim gerektiren becerilerin daha az desteklendiği görülmektedir.

Sosyal ve duyuşsal gelişim ile yaratıcılık alanlarında ise rol yapma, açık uçlu oyun ve etkileşimli oyuncaklar sunan markaların daha yüksek performans gösterdiği dikkat çekmektedir. Ancak bu alanların tüm markalar tarafından eşit düzeyde ele alınmadığı ve bazı markalarda bu becerilerin ikincil planda kaldığı görülmektedir.

Bu bulgular, mevcut oyuncak tasarımlarının sınırlı esneklik sunduğunu ve 4–6 yaş grubunun bireysel gelişim farklılıklarına yeterince yanıt veremediğini göstermektedir. Bu durum, daha esnek ve kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarına olan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, 3B yazıcı teknolojisi sunduğu hızlı prototipleme ve kişiselleştirme olanaklarıyla önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.

### **3. 3B YAZICI TEKNOLOJİSİNİN EĞİTİCİ OYUNCAK TASARIMINDAKİ ROLÜ**

#### **3.1 3B Yazıcı Teknolojisi**

3B yazıcı teknolojisi, literatürde “eklemeli imalat” (additive manufacturing) ya da “3D baskı” olarak tanımlanan; dijital ortamda oluşturulan bir modelin, malzemenin katmanlar halinde ardışık olarak eklenmesi yoluyla fiziksel bir ürüne dönüştürüldüğü bir üretim yöntemidir. Bu yaklaşım, geleneksel çıkarma veya kalıba dayalı üretim tekniklerinden farklı olarak, yüksek tasarım esnekliği sunması, karmaşık geometrilerin üretimine olanak tanınması ve üretim sürecinin doğrudan dijital veriler aracılığıyla otomatik olarak kontrol edilebilmesi gibi özellikleriyle öne çıkmaktadır (Yang vd., 2020; Jadhav & Jadhav, 2022). Eklemeli imalat süreçleri literatürde binder jetting, directed energy deposition, material extrusion, material jetting, powder bed fusion, sheet lamination ve vat polymerization gibi çeşitli yöntemler altında sınıflandırılmaktadır (Yang vd., 2020). Bu çerçevede, 3B yazıcı teknolojisi yalnızca bir üretim aracı olmanın ötesinde; dijital tasarım ile fiziksel üretim arasında doğrudan bir ilişki kuran, hızlı prototipleme, düşük malzeme israfı ve kişiselleştirilmiş üretim olanakları sunan yenilikçi bir üretim yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Ngo vd., 2018).

### 3.2. 3B Yazıcı Teknolojisinin Kullanım Alanları

3B yazıcı teknolojisi, sağladığı üretim esnekliği ve dijital üretim olanakları sayesinde günümüzde birçok farklı sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sağlık alanında, hasta özelinde protez, implant ve anatomik modellerin üretiminde önemli avantajlar sunarken; mühendislik ve endüstriyel tasarım alanlarında hızlı prototipleme, ürün geliştirme ve düşük hacimli üretim süreçlerinde etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir (Ngo vd., 2018). Mimarlık ve inşaat sektöründe karmaşık yapı elemanlarının modellenmesi ve ölçekli prototiplerin üretilmesinde kullanılırken, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde hafif, optimize edilmiş ve yüksek performanslı parçaların üretimine olanak sağlamaktadır (Gibson vd., 2015). Eğitim alanında ise 3B yazıcılar, soyut kavramların somutlaştırılmasına katkı sağlayarak deneyim temelli öğrenmeyi desteklemekte ve öğrencilerin tasarım odaklı düşünme becerilerini geliştirmektedir (Ford & Minshall, 2019). Ayrıca sanat ve tasarım disiplinlerinde özgün ve karmaşık formların üretimini mümkün kılarken, kişiselleştirilmiş ürünlerin geliştirilmesine de imkân tanımaktadır. Bu çok yönlü kullanım alanları, 3B yazıcı teknolojisini yalnızca bir üretim yöntemi değil, aynı zamanda disiplinler arası yenilikçi çözümler sunan bir araç haline getirmektedir.

### 3.3 Oyuncak Piyasasında 3B Yazıcının Kullanımı

3B yazıcı teknolojisi, oyuncak endüstrisinde özellikle ürün geliştirme ve prototipleme süreçlerinde önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Katmanlı üretim yönteminin sağladığı hızlı üretim imkânı sayesinde, tasarımcılar yeni oyuncak fikirlerini kısa sürede fiziksel prototiplere dönüştürebilmekte; bu durum, ürün geliştirme sürecinde hızlı geri bildirim alınmasını ve iteratif tasarım süreçlerinin etkin biçimde yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Böylece, geleneksel kalıp üretimine dayalı yöntemlere kıyasla zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlanmaktadır (Ngo vd., 2018).

Bununla birlikte, 3B yazıcı teknolojisi oyuncak tasarımında karmaşık geometrilerin üretilmesine olanak tanıyarak modüler ve çok parçalı sistemlerin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Özellikle eğitici oyuncaklarda problem çözme, mekânsal algı ve yaratıcılık gibi becerilerin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca eklemeli imalat süreçleri, düşük hacimli üretim ve kişiselleştirilmiş ürün geliştirme açısından önemli fırsatlar sunmakta; bu sayede çocukların yaş, gelişim düzeyi ve bireysel ihtiyaçlarına uygun oyuncakların tasarlanması mümkün hale gelmektedir (Gibson vd., 2015).

Oyuncak sektöründe 3B yazıcıların bir diğer önemli kullanım alanı, eğitim odaklı materyallerin üretimidir. Özellikle STEM/STEAM temelli öğrenme süreçlerinde kullanılan

fiziksel modeller ve manipülatifler, çocukların soyut kavramları somutlaştırarak öğrenmelerine katkı sağlamaktadır. Bu tür materyaller, deneyim temelli öğrenmeyi destekleyerek problem çözme ve analitik düşünme becerilerinin gelişimine katkıda bulunmaktadır (Ford & Minshall, 2019).

Bununla birlikte, literatürde 3B baskı ile üretilen oyuncakların yüzey kalitesi, malzeme dayanımı ve güvenlik açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Özellikle çocuklara yönelik ürünlerde küçük parça riski, keskin kenarlar ve kullanılan malzemelerin toksik olmaması gibi kriterlerin uluslararası oyuncak güvenliği standartlarına uygun biçimde ele alınması gerekmektedir (Ngo vd., 2018). Bu nedenle, 3B yazıcı teknolojisi oyuncak tasarımında önemli avantajlar sunmakla birlikte, güvenlik ve ergonomi kriterleri ile birlikte değerlendirilmesi gereken bir üretim yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

### **3.4 4-6 Yaş İçin Eğitici Oyuncak Tasarımında 3B Yazıcı Kullanımı**

Erken çocukluk döneminde 3B yazıcı teknolojisinin eğitici oyuncak tasarımında kullanımı, özellikle 4–6 yaş grubu için geliştirilen materyallerde öğrenme deneyimini somutlaştıran ve çocuğun gelişimsel özelliklerine uyarlanabilen yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Bu teknoloji, çocukların bilişsel, motor ve algısal gelişim düzeylerine uygun, antropometrik ve ergonomik gereksinimleri karşılayan oyuncakların tasarlanmasına olanak tanırken; aynı zamanda soyut kavramların fiziksel nesnelere aracılığıyla deneyimlenmesini sağlayarak öğrenme sürecini desteklemektedir. Okul öncesi eğitim bağlamında gerçekleştirilen çalışmalarda, çocukların hayal ettikleri materyallerin dijital ortamda modellenerek 3B yazıcı ile üretilmesi, teknolojinin pedagojik amaçlarla bütünleştirilebildiğini göstermektedir (Aslan & Kökduman, 2025). Benzer şekilde, 3B baskı ile üretilen eğitici oyuncakların hafif, dayanıklı, dikkat çekici ve kullanım açısından elverişli olduğu; bu özelliklerin erken çocukluk döneminde oyun temelli öğrenmeyi desteklediği belirtilmektedir (Sulistyarini vd., 2020). Ayrıca, Fab Lab temelli tasarım süreçlerinde 3B yazıcı teknolojisinin serbest oyun deneyimini zenginleştiren, çok işlevli ve yaratıcı oyuncakların geliştirilmesine katkı sağladığı ifade edilmektedir (Talu vd., 2024). Bununla birlikte, 3B yazıcı ile üretilen oyuncakların güvenlik açısından dikkatle ele alınması gerekmekte; özellikle küçük parça riski, yüzey kalitesi ve malzeme uygunluğu gibi faktörlerin çocuk sağlığı açısından değerlendirilmesi önem taşımaktadır (Gwangwava & Hlahla, 2019). Bu bağlamda 3B yazıcı teknolojisi, erken çocukluk dönemine yönelik eğitici oyuncak tasarımında yalnızca üretim kolaylığı sağlayan bir araç olmanın ötesinde; öğretim hedefleri, güvenlik kriterleri ve kullanıcı deneyimini bütüncül biçimde ele alan tasarım odaklı bir üretim yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir (Xu & Lee, 2023).

### 3.5 Eğitici Oyuncak Tasarımında Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Eğitici oyuncak tasarımında kullanılan üretim yöntemleri, ürünün tasarım süreci, maliyet yapısı, esneklik düzeyi ve kullanıcıya uyum kapasitesi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Geleneksel üretim yöntemleri uzun yıllardır seri üretim odaklı bir yaklaşım sunarken, son yıllarda 3B yazıcı teknolojileri tasarım ve üretim süreçlerine alternatif bir yaklaşım getirmiştir.

Çalışmada geleneksel üretim yöntemleri ile 3B yazıcı teknolojisi; üretim süreci, maliyet yapısı, üretim süresi, tasarım esnekliği, prototipleme süreci, kişiselleştirme, üretim ölçeği, malzeme kullanımı, tasarım yaklaşımı, güvenlik entegrasyonu, ergonomi, gelişim odaklı tasarım, dokunsal öğrenme ve sürdürülebilirlik gibi kriterler çerçevesinde karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Elde edilen karşılaştırma Tablo 5’te sunulmaktadır.

**Tablo 5.** Eğitici Oyuncak Tasarımında Geleneksel Üretim Yöntemleri ve 3B Yazıcı Teknolojisinin Karşılaştırılması

Kriter	Geleneksel Üretim Yöntemleri	3B Yazıcı Teknolojisi
<b>Üretim süreci</b>	Kalıp ve seri üretime bağlıdır	Kalıpsız, doğrudan üretim yapılabilir
<b>Maliyet yapısı</b>	Yüksek kalıp maliyeti	Düşük başlangıç maliyeti, küçük üretime uygun
<b>Üretim süresi</b>	Uzun üretim süresi (4-12 hafta)	Hızlı prototipleme ve kısa üretim süresi
<b>Tasarım esnekliği</b>	Değişiklikler maliyeli ve sınırlıdır	Tasarım değişiklikleri hızlı ve düşük maliyetlidir
<b>Prototipleme süreci</b>	Uzun ve çok aşamalıdır (deneme-yanılma yüksektir)	Hızlı iterasyon ve düşük hata maliyeti
<b>Kişiselleştirme</b>	Ekonomik değildir, seri üretim odaklıdır	Kullanıcıya özel üretim mümkündür
<b>Üretim ölçeği</b>	Yüksek hacim için uygundur	Düşük hacimli ve niş üretime uygundur
<b>Malzeme kullanımı</b>	Malzeme israfı yüksektir	Malzeme verimliliği yüksektir
<b>Tasarım yaklaşımı</b>	Üretilebilirlik önceliklidir	Tasarım özgürlüğü ön plandadır
<b>Güvenlik entegrasyonu</b>	Genellikle sürecin sonunda değerlendirilir	Tasarım sürecine entegre edilebilir
<b>Ergonomi ve kullanıcı uyumu</b>	Standart kullanıcıya yöneliktir	Çocuğa özel ergonomik tasarım yapılabilir

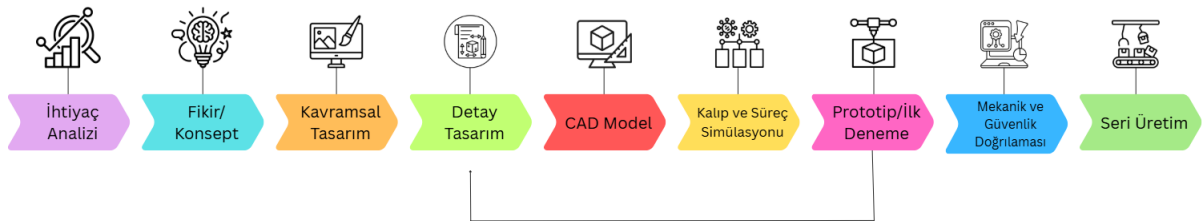
<b>Gelişim odaklı tasarım</b>	Sınırlı ve geliştirilmiş	Yaş ve gelişime duyarlı tasarım mümkündür
<b>Dokusal öğrenme</b>	Sınırlı ve standart formlar	Dokusal ve özel öğrenme materyalleri üretilebilir
<b>Sürdürülebilirlik</b>	Malzeme ve enerji tüketimi yüksek	PLA gibi çevre dostu malzemeler kullanılabilir

Tablo 5 incelendiğinde, geleneksel üretim yöntemlerinin daha çok seri üretim ve standartlaşma odaklı bir yapı sunduğu, buna karşılık 3B yazıcı teknolojisinin tasarım esnekliği, hızlı prototipleme ve kullanıcıya özel üretim açısından daha avantajlı bir yaklaşım sağladığı görülmektedir. Özellikle küçük ölçekli üretim, kişiselleştirme ve gelişim odaklı tasarım kriterlerinde 3B yazıcı teknolojisinin daha esnek çözümler sunduğu dikkat çekmektedir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, 4–6 yaş aralığındaki çocuklara yönelik eğitici oyuncak tasarımında mevcut ürün yaklaşımları incelenmiş ve bu yaklaşımların sınırlılıkları doğrultusunda 3B yazıcı teknolojisinin sunduğu olanaklar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, oyuncak pazarında yer alan ürünlerin büyük ölçüde standart üretim anlayışıyla geliştirildiğini, yaş ve gelişim farklılıklarını yeterince dikkate almayan geliştirilmiş tasarım yaklaşımlarının yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, eğitici oyuncakların çocukların bireysel gelişim ihtiyaçlarına uyum sağlama kapasitesini sınırlayan temel bir problem alanı olarak değerlendirilmektedir.

Bu problemin temelinde, geleneksel üretim yöntemlerinin seri üretim odaklı ve doğrusal bir tasarım sürecine dayanması yer almaktadır. Geleneksel ürün geliştirme süreçleri incelendiğinde, tasarımın ihtiyaç analizi ile başlayıp belirli aşamalar doğrultusunda ilerleyen, geri dönüşlerin sınırlı olduğu bir yapı sergilediği görülmektedir.

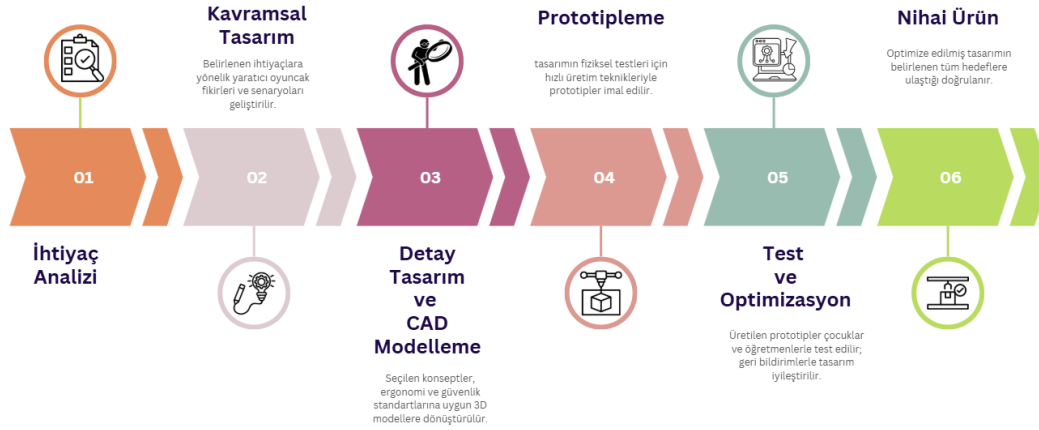


**Şekil 1.** Geleneksel Ürün Geliştirme Süreci

Şekil 1’de görüldüğü üzere, tasarım süreci belirli adımlar halinde ilerleyen doğrusal bir yapıdadır ve bu yapı içerisinde prototipleme ve test aşamaları sürecin belirli noktalarında

konumlanmaktadır. Bu durum, kullanıcıdan elde edilen geri bildirimlerin tasarım sürecine anlık ve etkin bir şekilde entegre edilmesini zorlaştırmakta; özellikle 4–6 yaş grubundaki çocukların değişken gelişimsel ihtiyaçlarına uygun tasarım çözümlerinin geliştirilmesini sınırlandırmaktadır.

Bu noktada 3B yazıcı teknolojisi, yalnızca üretim sürecine alternatif sunan bir araç değil, aynı zamanda tasarım sürecinin yapısını dönüştüren bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. 3B yazıcıların sunduğu hızlı prototipleme, düşük maliyetli üretim ve geometrik özgürlük olanakları, tasarım sürecinin daha esnek ve kullanıcı odaklı ilerlemesine olanak tanımaktadır. Bu dönüşüm, tasarım sürecinin doğrusal yapısından çıkarılarak iteratif bir yapıya evrilmesini mümkün kılmaktadır.



Şekil 2. 3B Yazıcı Destekli Tasarım ve Prototipleme Süreci

Şekil 2’de sunulan süreçte, kavramsal tasarım, modelleme, prototipleme ve test aşamaları arasında sürekli bir geri bildirim döngüsünün bulunduğu görülmektedir. Bu iteratif yapı sayesinde tasarım süreci yalnızca üretilebilirlik kriterlerine bağlı kalmamakta; kullanıcı deneyimi, ergonomi ve gelişimsel uygunluk gibi kriterler doğrultusunda sürekli olarak geliştirilebilen dinamik bir yapıya dönüşmektedir. Bu durum, özellikle erken çocukluk döneminde kritik öneme sahip olan bireysel farklılıkların tasarım sürecine entegre edilmesini mümkün kılmaktadır.

3B yazıcı teknolojisinin eğitici oyuncak tasarımında yalnızca üretim kolaylığı sağlayan bir araç olmadığı; aksine kullanıcı odaklı, esnek ve gelişim temelli tasarım yaklaşımlarının uygulanmasını mümkün kılan stratejik bir üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle kişiselleştirme, modüler tasarım ve deneyim temelli öğrenme materyallerinin geliştirilmesi açısından sunduğu olanaklar, bu teknolojinin eğitici oyuncak tasarımındaki rolünü daha da önemli hale getirmektedir.

## 5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen [**Proje No: KBÜBAP-25-YL-195**] kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan katkılardan dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKÇA

- Aksoy, P., & Baran, G. (2017). Annelerin cinsiyet rollerine ilişkin özellikleri ile çocukların oyuncak tercihleri ve oynadıkları oyun türleri arasındaki ilişki üzerine bir çalışma. *Eğitimde Nitel Araştırmalar Dergisi*, 5(1), 102–136.
- Aslan, A., & Kökduman, N. (2025). 3D printing technology in early childhood education: Bridging imagination and practice through pre-service teacher engagement. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1706891>
- Bahri, N. F., Ramawisari, I., & Putri, S. A. (2023). Design concept analysis of educational toys to stimulate early childhood fine motor development. *Gelar: Jurnal Seni Budaya*, 21(1), 57–70.
- Berk, L. E. (2013). *Child development* (9th ed.). Pearson.
- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır, M. C., & Duysak, A. (2013). Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulama alanları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (31), 1–17.
- Druin, A. (1999). The role of children in the design of new technology. *Behaviour & Information Technology*, 18(6), 583–589.
- Elibol, A. G. G. C., Kılıç, A. G. Y., & Burdurlu, E. (2006). Okul öncesi çocuk oyuncaklarında malzeme kullanımı ve 4–6 yaş çocuklarının renk tercihleri. *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 9(9), 35–44.
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications: A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392.
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2nd ed.). Springer.
- Gwangwava, N., & Hlahla, C. (2019). 3D printing applications in STEM education. In M. Khosrow-Pour (Ed.), *Advanced methodologies and technologies in modern education delivery* (pp. 489–507). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7365-4.ch039>
- Jadhav, A., & Jadhav, V. (2022). A review on 3D printing: An additive manufacturing technology. *Materials Today: Proceedings*, 62, 6070–6075. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.558>
- Miller, E., & Almon, J. (2009). *Crisis in the kindergarten: Why children need to play in school*. Alliance for Childhood.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Piaget, J. (1962). *Play, dreams and imitation in childhood*. W. W. Norton & Company.
- Pushparatnam, A., Luna Bazaldua, D. A., Holla, A., Azevedo, J. P., Clarke, M., & Devercelli, A. (2021). Measuring early childhood development among 4–6 year olds: The identification of psychometrically robust items across diverse contexts. *Frontiers in Public Health*, 9, 569448.
- Sulistyarini, D. H., Andriani, D. P., Darmawan, Z., & Setyarini, P. H. (2020). Implementation of rapid prototyping polylactic acid using 3D printing technology for early education applications. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(2), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216382>
- Talu, N., Yurt, C., & Çolak, C. (2024). Fab Lab toys from a second-grade industrial design studio: Expanding the boundaries of toy design. *The International Journal of Designed Objects*, 18(2), 157–183. <https://doi.org/10.18848/2325-1379/cgp/v18i02/157-183>

- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Xu, Y., & Lee, S. W. (2023). Analysis of design elements of educational toys for preschool children aged 3–6 years old: Taking KANO-AHP model as the core. *Korea Institute of Design Research Society*, 8(4), 76–89. <https://doi.org/10.46248/kidrs.2023.4.76>
- Yang, L., Hsu, K., Baughman, G., Godfrey, D. G., Medina, F., Menon, M., & Wiener, S. (2020). Introduction to additive manufacturing. In *Additive manufacturing* (ASM Handbook, Vol. 24). ASM International. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v24.a0006555>
- Yiğit, N., & Alat, K. (2022). Erken çocukluk dönemindeki çocukların dijital oyun oynama alışkanlıklarına ilişkin anne/baba görüşleri. *e-Kafkas Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 9, 1026–1052.
- Dede Toys. (n.d.). *Ürünler*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.dedeoyuncak.com.tr>
- Djeco. (n.d.). *Oyuncak ve oyunlar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.djeco.com>
- Fat Brain Toys. (n.d.). *Eğitici oyuncaklar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.fatbraintoys.com>
- Fisher-Price. (n.d.). *Bebek ve çocuk oyuncakları*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.fisher-price.com>
- Hape. (n.d.). *Eğitici oyuncaklar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.hape.com>
- Hasbro. (n.d.). *Oyuncak ve oyunlar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.hasbro.com>
- LEGO Group. (n.d.). *LEGO resmi web sitesi*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.lego.com>
- Learning Resources. (n.d.). *Eğitim materyalleri*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.learningresources.com>
- Melissa & Doug. (n.d.). *Eğitici oyuncaklar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.melissaanddoug.com>
- Ms. Rachel. (n.d.). *Eğitici oyuncaklar ve içerikler*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.msRachel.com>
- Pilsan. (n.d.). *Oyuncak ürünleri*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.pilsan.com.tr>
- PlanToys. (n.d.). *Sürdürülebilir oyuncaklar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.plantoys.com>
- Ravensburger. (n.d.). *Ürünler*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.ravensburger.com>
- VTech. (n.d.). *Eğitici elektronik oyuncaklar*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.vtechkids.com>
- Zuzu Toys. (n.d.). *Oyuncak ürünleri*. Retrieved April 16, 2026, from <https://www.zuzutoys.com>

## HAVACILIK İŞLETMELERİNDE ÖRGÜT KÜLTÜRÜ VE İNOVASYON DÜZEYİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

**Gülse YETİŞİR**

Kastamonu University, Postgraduate Education Institute, 37150 Kastamonu, Türkiye.

**ORCID ID:** 0009-0002-6917-6832

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERTEK**

KTO Karatay University, School of Applied Sciences, Pilot Training Department, 42020 Konya, Türkiye.

**ORCID ID:** 0000-0002-8156-5075

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, havacılık işletmelerinde örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasındaki ilişkinin incelenmesi ve örgüt kültürünün inovasyon üzerindeki etkisinin ortaya konulmasıdır. Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış olup veriler anket formu aracılığıyla elde edilmiştir. Bu kapsamda havacılık sektöründe farklı pozisyonlarda görev yapan 228 katılımcıdan veri toplanmıştır. Toplanan veriler IBM SPSS programı aracılığıyla analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasında yüksek düzeyde ve pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca örgüt kültürünün inovasyon düzeyi üzerinde anlamlı ve güçlü bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte değişkenler arasındaki yüksek korelasyon, kavramsal örtüşme ve ortak yöntem yanlılığı olasılıklarını gündeme getirmekte olup bulguların dikkatli yorumlanmasını gerektirmektedir. Araştırma sonuçları, havacılık işletmelerinde inovasyonun geliştirilmesinde örgüt kültürünün kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Havacılık sektörü, Havacılık yönetimi, İnovasyon, Örgüt kültürü, Stratejik yönetim

### EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN ORGANIZATIONAL CULTURE AND INNOVATION LEVEL IN AVIATION ENTERPRISES

#### ABSTRACT

The aim of this study is to examine the relationship between organizational culture and the level of innovation in aviation enterprises and to reveal the effect of organizational culture on innovation. A quantitative research method was employed, and the data were collected through a questionnaire. In this context, data were obtained from 228 participants working in different positions within the aviation sector. The collected data were analyzed using the IBM SPSS program. According to the results of the analysis, there is a strong and positive relationship between organizational culture and the level of innovation. In addition, it was determined that organizational culture has a significant and strong effect on the level of innovation. However, the high correlation between the variables raises the possibility of conceptual overlap and

common method bias, which necessitates careful interpretation of the findings. The results of the study indicate that organizational culture plays a critical role in enhancing innovation in aviation enterprises.

**Keywords:** Aviation sector, Aviation management, Innovation, Organizational culture, Strategic management

## 1. GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilir başarı elde edebilmesi, yalnızca sahip oldukları fiziksel ve finansal kaynaklara değil, aynı zamanda örgütsel yapıları ve kültürel özelliklerine de bağlıdır. Özellikle yoğun hizmet içeren havacılık sektöründe, operasyonel karmaşıklık, yüksek rekabet baskısı ve sürekli değişen çevresel koşullar, işletmelerin yenilikçi kapasitesini stratejik bir zorunluluk haline getirmektedir. Bu bağlamda inovasyon, yalnızca teknolojik gelişmelerle sınırlı olmayan, aynı zamanda örgütsel süreçleri, çalışan davranışlarını ve yönetim anlayışını kapsayan çok boyutlu bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

İnovasyonun ortaya çıkmasında ve sürdürülebilir hale gelmesinde örgüt kültürünün belirleyici bir rol oynadığı kabul edilmektedir. Örgüt kültürü, çalışanların değerlerini, normlarını ve davranış biçimlerini şekillendirerek işletme içinde nasıl bir çalışma ortamı oluşacağını belirlemektedir. Açık iletişim, risk alma, öğrenme ve iş birliği gibi unsurları destekleyen bir örgüt kültürü, inovatif davranışların gelişmesini kolaylaştırırken; katı, bürokratik ve kontrol odaklı yapılar inovasyonu sınırlayabilmektedir.

Havacılık sektörü, yüksek güvenlik standartları ile esneklik ve yenilik gereksinimini aynı anda barındıran özgün bir yapıya sahiptir. Bu nedenle örgüt kültürü ile inovasyon arasındaki ilişkinin bu sektörde incelenmesi, hem teorik hem de uygulamaya yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır. Ancak literatürde bu iki değişkenin havacılık işletmeleri özelinde birlikte ele alındığı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, havacılık işletmelerinde örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasındaki ilişki nicel veriler üzerinden analiz edilmekte ve örgüt kültürünün inovasyon üzerindeki etkisi ampirik olarak test edilmektedir. Bu yönüyle çalışma, hem örgütsel davranış literatürüne katkı sunmayı hem de sektör uygulayıcılarına yol gösterici bulgular sağlamayı amaçlamaktadır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Örgüt kültürü, örgütlerde dengeyi sağlayarak grubu koruyan ve güçlendiren “normatif yapılandırıcı” olarak düşünülebilir. Ayrıca, örgüt üyelerinin davranış ve tutumlarını yönlendiren, şekillendiren bir anlam oluşturma ve kontrol mekanizmasıdır (Scott ve Estabrooks, 2006, s. 499). Çalışanların örgüt içindeki mutluluğu ve kişisel hedeflerine ulaşma seviyesi, çalışanların

örgüte bağlanmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla çalışanlarda hem isteksiz çalışma ve tatminsizliğin önüne geçmek, hem de örgüt içindeki uyum ve dengenin sağlanabilmesi için örgüt kültürü önemlidir (Demir ve Öztürk, 2011, s. 20). Duncan (1989, s. 229), örgüt kültürü öğelerini öznel ve nesnel boyut olmak üzere iki temel boyuta ayırmıştır. Schein, örgüt kültürünün öğelerini üç boyutta ele almaktadır. İlki artefaktlar, ikincisi değerler, inançlar, kurallar gibi özellikler ve sonuncusu ise, varsayımlardan oluşmaktadır (Schein, 2010, s. 32).

Havacılık işletmelerinde ise riski olabildiğince sıfır seviyelerine yaklaştırmayı hedefleyen emniyet yönetim sistemi, havacılıkta emniyet kültürünün oluşmasında önemli bir adım olarak görülebilmektedir (Süzen, 2023, s. 103, 104).

Gün geçtikçe işletmeler tarafından sunulan hizmetlerin benzer bir hâl alması, işletmelerin rekabet içine girmesine yol açmıştır (Özbey ve Başdaş, 2018, s.2). İşletmeler ise yeni bir ürün ve hizmet geliştirme veya farklılaştırma yoluyla inovasyon gerçekleştirerek öncü konuma ulaşabilmektedir. Bu sayede inovasyon, işletmelerin rekabet avantajı elde etmesine katkı sağlamaktadır (Işık ve Keskin, 2013, s. 42). Porter ise inovasyonu "İşletmeler, yenilikçilik ile rekabet avantajı yakalar. Yenilikçiliğe, hem yeni teknolojileri hem de yeni iş yapış şekillerini kapsayacak şekilde geniş bir açıdan yaklaşırlar." şeklinde ifade etmiştir (Porter, 1990, s. 75; Açıkgoz Ersoy ve Muter Şengül, 2008, s. 60).

### 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırmanın temel amacı, havacılık işletmelerinde örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasındaki ilişkinin incelenmesi ve örgüt kültürünün inovasyon üzerindeki etkisinin ortaya konulmasıdır. Bu doğrultuda çalışma, nicel araştırma yaklaşımına dayalı olarak tasarlanmış ve ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. Araştırma modeli kapsamında örgüt kültürü bağımsız değişken, inovasyon düzeyi ise bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Bu çerçevede araştırmada örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu (H1) ve örgüt kültürünün inovasyon düzeyi üzerinde anlamlı ve pozitif bir etkisi olduğu (H2) yönünde hipotezler geliştirilmiştir.

Araştırmanın evrenini havacılık sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde çalışan bireyler oluşturmaktadır. Araştırmada toplam 228 katılımcıdan veri toplanmıştır. Katılımcıların farklı pozisyonlarda (yönetici, şef/amir, çalışan ve stajyer) görev yapmaları, elde edilen verilerin sektörel çeşitliliği yansıtması açısından önem taşımaktadır.

Araştırmada veri toplama aracı olarak anket yöntemi kullanılmıştır. Anket formu iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde katılımcıların demografik özelliklerini belirlemeye yönelik sorulara yer verilmiş, ikinci bölümde ise örgüt kültürü (Yörük Karakılıç, 2019) ve inovasyon düzeyini

(Akman, 2025) ölçmeye yönelik ifadeler kullanılmıştır. Ölçüm aracında yer alan ifadeler 5’li Likert ölçeği (1 = Kesinlikle Katılmıyorum, 5 = Kesinlikle Katılıyorum) ile değerlendirilmiştir. Elde edilen verilerin analizinde SPSS paket programı kullanılmıştır. Analiz sürecinde öncelikle tanımlayıcı istatistikler ile katılımcı profili ortaya konulmuş, ardından ölçeğin güvenilirliği Cronbach Alpha katsayısı ile test edilmiştir. Ölçeğin yapı geçerliliğini belirlemek amacıyla açımlayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve son olarak örgüt kültürünün inovasyon düzeyi üzerindeki etkisini test etmek amacıyla regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, araştırma hipotezleri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

#### 4. BULGULAR

Bu bölümde, araştırma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları sunulmaktadır. İlk olarak katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ortaya konulmuş, ardından ölçüm aracının güvenilirlik ve geçerliliğini değerlendirmek amacıyla Cronbach Alpha ve faktör analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla korelasyon analizi uygulanmış, son olarak ise örgüt kültürünün inovasyon düzeyi üzerindeki etkisi regresyon analizi ile test edilmiştir. Elde edilen bulgular, araştırma hipotezleri doğrultusunda sistematik bir biçimde yorumlanmıştır.

##### 3.1. Demografik Değişkenler

**Tablo 1.** Cinsiyet Dağılımı

Cinsiyet	Frekans (f)	Yüzde (%)
Kadın (1)	68	29.8
Erkek (2)	159	69.7
Belirtmek istemiyorum (3)	1	0.4
<b>Toplam</b>	<b>228</b>	<b>100</b>

Elde edilen bulgulara göre araştırmaya katılanların büyük çoğunluğunu erkekler (%69.7) oluştururken, kadın katılımcıların oranı %29.8 olarak belirlenmiştir. Katılımcıların çok küçük bir kısmı (%0.4) ise cinsiyet belirtmek istemediğini ifade etmiştir. Bu dağılım, örneklemin erkek ağırlıklı bir yapıya sahip olduğunu göstermekte olup, havacılık sektöründeki mevcut istihdam yapısıyla paralellik göstermektedir. Bu durum, elde edilen bulguların yorumlanmasında cinsiyet dağılımının dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

**Tablo 2. Yaş Dağılımı**

Yaş Grubu	Frekans	Yüzde (%)
18–25	58	25.4
26–35	96	42.1
36–45	54	23.7
46–55	18	7.9
56–65	2	0.9
<b>Toplam</b>	228	100

Araştırmaya katılanların yaş dağılımı incelendiğinde, katılımcıların büyük çoğunluğunun 26–35 yaş aralığında (%42.1) olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla 18–25 yaş grubu (%25.4) ve 36–45 yaş grubu (%23.7) takip etmektedir. 46–55 yaş aralığındaki katılımcıların oranı %7.9 iken, 56–65 yaş grubunun oldukça düşük bir orana (%0.9) sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, araştırma örnekleminin ağırlıklı olarak genç ve orta yaş grubundan oluştuğunu göstermekte olup, havacılık sektöründe aktif iş gücünün daha çok bu yaş aralıklarında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

**Tablo 3. Medeni Durum**

Medeni Durum	Frekans	Yüzde (%)
Evli	95	41.7
Bekâr	133	58.3
<b>Toplam</b>	228	100

Araştırmaya katılanların medeni durum dağılımı incelendiğinde, katılımcıların %58.3'ünün bekâr, %41.7'sinin ise evli olduğu görülmektedir. Bu bulgular, örneklemin ağırlıklı olarak bekâr bireylerden oluştuğunu göstermektedir. Bu durum, katılımcıların yaş dağılımı ile de paralellik göstermekte olup, havacılık sektöründe özellikle genç ve aktif iş gücünün daha yüksek oranda temsil edildiğine işaret etmektedir.

**Tablo 4. Eğitim Düzeyi**

Eğitim	Frekans	Yüzde (%)
Lise	7	3.1
Ön lisans	47	20.6
Lisans	144	63.2
Lisansüstü	30	13.2
<b>Toplam</b>	228	100

Katılımcıların eğitim düzeyi incelendiğinde, büyük çoğunluğun lisans mezunu (%63.2) olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla ön lisans (%20.6) ve lisansüstü (%13.2) mezunları takip etmektedir. Lise mezunlarının oranı ise oldukça düşük (%3.1) düzeydedir. Bu bulgular, araştırma örnekleminin genel olarak yüksek eğitim düzeyine sahip bireylerden oluştuğunu

göstermektedir. Bu durum, havacılık sektöründe nitelikli iş gücünün önemine işaret etmekte ve elde edilen bulguların eğitim düzeyi açısından bilinçli ve donanımlı katılımcı görüşlerini yansıttığını ortaya koymaktadır.

**Tablo 5.** Çalışılan Pozisyon

Pozisyon	Frekans	Yüzde (%)
Yönetici	40	17.5
Şef/Amir	56	24.6
Uygulama Düzeyi Çalışan	128	56.1
Stajyer	4	1.8
<b>Toplam</b>	<b>228</b>	<b>100</b>

Katılımcıların pozisyon dağılımı incelendiğinde, büyük çoğunluğun %56.1 oran ile operasyonel düzeyde görev yapan personelden oluştuğu görülmektedir. Bunu sırasıyla şef/amir (%24.6) ve yönetici (%17.5) pozisyonundaki katılımcılar takip etmektedir. Stajyerlerin oranı ise oldukça düşüktür (%1.8). Bu bulgular, araştırma örnekleminin ağırlıklı olarak uygulama düzeyinde görev yapan çalışanlardan oluştuğunu ve elde edilen sonuçların saha deneyimine dayalı algıları yansıttığını göstermektedir.

**Tablo 6.** Çalışma Süresi

Süre	Frekans	Yüzde (%)
1 yıldan az	28	12.3
1–5 yıl	109	47.8
6–10 yıl	32	14.0
11–15 yıl	25	11.0
16+ yıl	34	14.9
<b>Toplam</b>	<b>228</b>	<b>100</b>

Katılımcıların çalışma süreleri incelendiğinde, en yüksek oranın %47.8 ile 1–5 yıl arası deneyime sahip çalışanlara ait olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla 16 yıl ve üzeri (%14.9), 6–10 yıl (%14.0), 1 yıldan az (%12.3) ve 11–15 yıl (%11.0) deneyime sahip katılımcılar takip etmektedir. Bu bulgular, örneklemin ağırlıklı olarak orta düzey deneyime sahip çalışanlardan oluştuğunu göstermektedir. Aynı zamanda farklı deneyim düzeylerinden katılımcıların yer alması, araştırma sonuçlarının sektördeki çeşitli kıdem gruplarını temsil etmesi açısından önemli bir çeşitlilik sağlamaktadır.

**Tablo 7.** Örgüt Kültürü ve İnovasyon Düzeyine İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Ortalama	Std. Sapma
Örgüt Kültürü	3.51	1.02
İnovasyon Düzeyi	3.44	0.94

Araştırma kapsamında incelenen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistikler değerlendirildiğinde, örgüt kültürü değişkeninin ortalama değerinin 3.51, inovasyon düzeyinin ise 3.44 olduğu görülmektedir. Bu bulgular, katılımcıların her iki değişkene yönelik algılarının genel olarak olumlu ve orta düzeyin üzerinde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen ortalama değerlerin 5’li Likert ölçeği dikkate alındığında yüksek düzeyde olmadığı, dolayısıyla işletmelerde güçlü bir örgüt kültürü ya da ileri düzeyde bir inovasyon ortamının tam anlamıyla tesis edilmediği söylenebilir.

Örgüt kültürüne ilişkin ortalamanın inovasyon düzeyine kıyasla hafif bir farkla daha yüksek olması, işletmelerde kültürel yapının algısal olarak daha belirgin olduğunu göstermektedir. Standart sapma değerlerinin 1 seviyesinde ve altında olması ise katılımcı görüşlerinin görece homojen bir dağılım sergilediğine işaret etmektedir.

**Tablo 8.** Ölçeklere İlişkin Güvenilirlik Analizi Sonuçları (Cronbach’s Alpha)

Ölçek	Cronbach’s Alpha	Madde Sayısı
Örgüt Kültürü	<b>0.968</b>	16
İnovasyon Düzeyi	<b>0.971</b>	24

Araştırmada kullanılan ölçeklerin güvenilirliğini belirlemek amacıyla Cronbach’s Alpha analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre örgüt kültürü ölçeğinin Cronbach’s Alpha değeri 0.968, inovasyon düzeyi ölçeğinin ise 0.971 olarak bulunmuştur. Bu değerler, her iki ölçeğin de çok yüksek düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Literatürde 0.90 ve üzerindeki değerler mükemmel güvenilirlik olarak değerlendirildiğinden, araştırmada kullanılan ölçüm araçlarının oldukça güvenilir olduğu ve analizlerde güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

**Tablo 9.** Geçerlilik Analizi (KMO ve Bartlett Testi)

Test	Değer
KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)	<b>0.965</b>
Bartlett Küresellik Testi ( $\chi^2$ )	<b>9676.118</b>
Serbestlik Derecesi (df)	780
Anlamlılık (p)	<b>0.000</b>

Araştırmada kullanılan ölçeğin yapı geçerliliğini test etmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ve Bartlett Küresellik Testi uygulanmıştır. Analiz sonucunda KMO değeri 0.965 olarak bulunmuş olup, bu değer veri setinin faktör analizi için mükemmel düzeyde uygun olduğunu göstermektedir. Bartlett Küresellik Testi sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlı olması ( $\chi^2 = 9676.118$ ;  $p < 0.001$ ), değişkenler arasında yeterli düzeyde ilişki bulunduğunu ve veri setinin faktör analizine uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, ölçeğin yapı geçerliliğinin sağlandığını göstermektedir. Bununla birlikte, faktör analizine ilişkin genel değerlendirme kapsamında, maddelerin faktörler tarafından açıklanma düzeylerinin yeterli olduğu ve

değişkenlerin örneklem yeterliliği açısından kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer aldığı görülmektedir. Bu bulgular, veri setinin faktör analizine uygunluğunu desteklemektedir.

**Tablo 10.** Örgüt Kültürü Ölçeğine İlişkin Faktör Analizi Sonuçları

Faktör	Özdeğer	Açıklanan Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
Faktör 1	<b>10.91</b>	<b>67.87</b>	<b>67.87</b>
Faktör 2	1.03	6.45	74.33

Örgüt kültürü ölçeğine ilişkin faktör analizi sonucunda özdeğeri 1'in üzerinde olan iki faktör elde edilmiştir. Bu faktörler toplam varyansın %74.33'ünü açıklamaktadır. Elde edilen sonuçlar, örgüt kültürü yapısının çok boyutlu bir özellik taşıdığını göstermektedir. Bununla birlikte, ilk faktörün açıkladığı varyans oranının yüksek olması, ölçeğin baskın bir boyut etrafında yoğunlaştığını göstermektedir.

**Tablo 11.** İnovasyon Ölçeğine İlişkin Faktör Analizi Sonuçları

Faktör	Özdeğer	Açıklanan Varyans (%)	Kümülatif Varyans (%)
Faktör 1	<b>14.55</b>	<b>60.36</b>	<b>60.36</b>
Faktör 2	1.71	7.13	67.49
Faktör 3	1.04	4.32	71.81

İnovasyon ölçeğine ilişkin gerçekleştirilen faktör analizi sonucunda özdeğeri 1'in üzerinde olan 3 faktör elde edilmiştir. Bu bulgu, inovasyonun çok boyutlu bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bu faktörler toplam varyansın %71.81'ini açıklamaktadır. İlk faktörün açıkladığı varyans oranının yüksek olması (%60.36), inovasyon ölçeğinin baskın bir boyuta sahip olduğunu göstermektedir.

**Tablo 12.** Korelasyon Analizi Sonuçları

Değişkenler	1	2
1. Örgüt Kültürü	1	
2. İnovasyon Düzeyi	<b>0.853</b>	1

Korelasyon analizi sonuçlarına göre örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ( $r = 0.853$ ,  $p < 0.01$ ). Bu değer, değişkenler arasında yüksek düzeyde bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, örgüt kültürü arttıkça inovasyon düzeyinin de önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda H1 hipotezi kabul edilmiştir. Bununla birlikte, değişkenler arasındaki yüksek korelasyon katsayısı, kavramsal örtüşme olasılığına işaret etmektedir. Bu durum, ölçeklerin ayırışma geçerliliği (discriminant validity) açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

**Tablo 13.** Regresyon Analizi Sonuçları

Değişken	$\beta$ (Beta)	t	p
Örgüt Kültürü	<b>0.790</b>	<b>24.59</b>	<b>0.000</b>
<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup></b>	
<b>0.853</b>	<b>0.728</b>	<b>0.727</b>	

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçlarına göre örgüt kültürünün inovasyon düzeyi üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ( $\beta = 0.790$ ,  $p < 0.001$ ). Modelin açıklayıcılık gücünü gösteren  $R^2$  değeri 0.728 olarak bulunmuş olup, bu durum örgüt kültürünün inovasyon düzeyindeki değişimin yaklaşık %72.8'ini açıkladığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, örgüt kültürünün inovasyon üzerinde oldukça güçlü bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda H2 hipotezi kabul edilmiştir. Bununla birlikte, model yüksek açıklayıcılık gücüne sahip olmakla birlikte, değişkenler arasındaki yüksek korelasyon ortak yöntem yanlılığı (common method bias) olasılığını gündeme getirmektedir. Bu nedenle bulguların yorumlanmasında dikkatli olunması gerekmektedir.

### SONUÇ

Bu çalışmada havacılık işletmelerinde örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasındaki ilişki ampirik olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular, örgüt kültürünün inovasyon üzerinde güçlü ve anlamlı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Analiz sonuçları, örgüt kültürü ile inovasyon düzeyi arasında yüksek düzeyde pozitif bir ilişki bulunduğunu göstermekte, bu durum inovatif kapasitenin geliştirilmesinde kültürel unsurların kritik bir rol oynadığını doğrulamaktadır.

Bununla birlikte, değişkenler arasındaki ilişkinin oldukça yüksek düzeyde olması, bu iki yapının kavramsal olarak birbirine yakın olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca modelin yüksek açıklayıcılık gücü, ortak yöntem yanlılığı olasılığını da gündeme getirmekte olup bulguların yorumlanmasında temkinli olunması gerektiğine işaret etmektedir. Bu durum, gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı veri toplama yöntemlerinin ve çoklu veri kaynaklarının kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular uygulama açısından değerlendirildiğinde, havacılık işletmelerinde inovasyonun artırılmasının yalnızca teknik yatırımlarla değil, aynı zamanda çalışanları destekleyen, öğrenmeyi teşvik eden ve risk almayı mümkün kılan bir örgüt kültürünün oluşturulmasıyla mümkün olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda yöneticilerin, örgüt içinde açık iletişimi güçlendiren, geri bildirim mekanizmalarını etkinleştiren ve çalışanların yaratıcı katkılarını teşvik eden bir kültürel yapı oluşturmaları önem taşımaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, örgüt kültürü ile inovasyon arasındaki ilişkinin havacılık sektörü bağlamında güçlü bir şekilde ortaya konulmasını sağlamış ve literatüre özgün bir katkı sunmuştur. Gelecek araştırmalarda, farklı sektörlerde karşılaştırmalı analizler yapılması ve örgüt kültürünün alt boyutlarının inovasyon üzerindeki etkilerinin detaylı biçimde incelenmesi önerilmektedir.

## KAYNAKÇA

- Akman, A. Z. (2025). İşyeri inovasyonu ölçeği: Geçerlik ve güvenilirlik çalışması. *Verimlilik Dergisi*, 59(2), 289-302.
- Demir, C., & Öztürk, U. C. (2011). Örgüt Kültürünün Örgütsel Bağlılık Üzerine Etkisi Ve Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(1), 2. <https://izlik.org/JA94AW56XX>
- Duncan, W. J. (1989). Organizational culture: "Getting a fix" on an elusive concept. *Academy of Management perspectives*, 3(3), 229-236.
- Ersoy, B. A., & Şengül, C. M. (2008). Yenilikçiliğe yönelik devlet uygulamaları ve AB karşılaştırması. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 15(1), 59-74.
- Işık, C., & Keskin, G. (2013). Bilgi Ekonomilerinde Rekabet Üstünlüğü Oluşturulması Açısından Inovasyonun Önemi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 27(1), 41-57.
- Karakılıç, N. Y. (2019). Cameron ve Quinn örgüt kültürü ölçeğinin güvenilirlik ve geçerliğinin test edilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1), 19-30.
- Özbey, H., & Başdaş, Ö. (2018). Hemşirelikte inovasyon. *ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 5(1-2), 1-7.
- Porter, M. E. (1990) "The Competitive Advantage of Nations", Macmillan, London.
- Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership* (Vol. 2). John Wiley & Sons.
- Scott-Findlay, S., & Estabrooks, C. A. (2006). Mapping the organizational culture research in nursing: a literature review. *Journal of advanced nursing*, 56(5), 498-513.
- Süzen, E. Havacılıkta Emniyet Yönetim Sistemi. *Temelleri*, 101.

## HAVACILIKTA DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN OPERASYON EMNİYETİNE ETKİSİ

**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERTEK**

KTO Karatay University, School of Applied Sciences, Pilot Training Department, 42020 Konya, Türkiye.

**ORCID ID:** 0000-0002-8156-5075

**Gülse YETİŞİR**

Kastamonu University, Postgraduate Education Institute, 37150 Kastamonu, Türkiye

**ORCID ID:** 0009-0002-6917-6832

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, havacılık sektöründe çalışanların dijital dönüşüm düzeyleri ile emniyetli davranışları arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış olup veriler anket formu aracılığıyla elde edilmiştir. Anket formu dijital dönüşüm ve emniyetli davranış düzeylerini ölçmeye yönelik iki ayrı ölçek kullanılarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda 100 havacılık sektörü çalışanından veri toplanmıştır. Toplanan veriler IBM SPSS programı ile analiz edilmiştir. Bulgular, kullanılan ölçeklerin yüksek düzeyde geçerli ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Korelasyon analizi sonuçlarına göre, dijital dönüşüm ile emniyetli davranış arasında pozitif yönlü, yüksek düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Bu sonuç, dijital dönüşüm düzeyindeki artışın emniyetli davranış düzeyini de artırdığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dijital dönüşüm, Emniyetli davranış, Havacılık sektörü, Örgütsel emniyet

### THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON OPERATIONAL SAFETY IN AVIATION

#### ABSTRACT

The aim of this study is to examine the relationship between employees' levels of digital transformation and their safety behaviors in the aviation sector. A quantitative research method was employed, and the data were collected through a questionnaire. The questionnaire was designed using two separate scales to measure digital transformation and safety behavior levels. In this context, data were collected from 100 employees working in the aviation sector. The collected data were analyzed using the IBM SPSS program. The findings indicate that the scales used are highly valid and reliable. According to the results of the correlation analysis, there is a positive, strong, and statistically significant relationship between digital transformation and safety behavior. This result reveals that an increase in the level of digital transformation also increases the level of safety behavior.

**Keywords:** Digital transformation, Safety behavior, Aviation sector, Organizational safety

## 1. GİRİŞ

Havacılık sektörü, yüksek risk içeren operasyonel yapısı nedeniyle emniyet odaklı yönetim anlayışının en kritik olduğu alanlardan biridir. Bu bağlamda çalışanların sergilediği emniyetli davranışlar, operasyonel performans ve sistem güvenliği açısından belirleyici bir rol oynamaktadır. Öte yandan son yıllarda hız kazanan dijital dönüşüm süreci, havacılık sektöründe iş yapış biçimlerini, karar alma süreçlerini ve operasyonel uygulamaları önemli ölçüde değiştirmektedir.

Dijital teknolojilerin yaygınlaşması, çalışanların bilgiye erişimini kolaylaştırmakta, süreçleri daha sistematik hale getirmekte ve hata olasılıklarını azaltabilecek yeni olanaklar sunmaktadır. Bu durum, dijital dönüşüm ile emniyetli davranışlar arasında potansiyel bir ilişkiyi gündeme getirmektedir. Ancak bu ilişkinin çalışan düzeyinde nasıl şekillendiğine yönelik ampirik bulguların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu doğrultuda çalışmada, havacılık sektöründe çalışan bireylerin dijital dönüşüm düzeyleri ile emniyetli davranışları arasındaki ilişki incelenmiş ve bu iki değişken arasındaki etkileşim ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Havacılık sektöründe faaliyet gösteren havayolu işletmeleri, hem işletmenin temel fonksiyonlarını yürütmekte hem de bakım, tedarik, müşteri ilişkileri gibi faaliyetlerde dijital uygulamalara ağırlık vermektedir. Havacılık sektörü düşük karlılık oranıyla yürütüldüğünden, dijitalleşmeye yönelik uygulamalar karlılığı yükseltmeyi amaçlamakta ve diğer bir yandan sektör için bir gereklilik haline gelmeye başlamaktadır. Her ne kadar kârlılığa pozitif yönde etki etse de dijitalleşme uygulamaları, yüksek bakım ve kurulum maliyetine sahiptir (Meydan, 2023, s. 66). Havacılık sektöründe havayolu işletmeleri dijital uygulamaları çok alanda kullanmaktadır: Online check-in ve boarding, mobil havayolu uygulamaları, dijital bagaj kartları ve dijital sadakat programları bu uygulamalar arasında bulunmaktadır. Havayolu işletmelerinin gerçekleştirdiği uygulamalar ise yolcuya sunulan hizmet çeşitliliğinin artışı, yükselen marka değeri ve dış çevreyle entegrasyonun kolaylaşması gibi faydalara sahiptir. (Macit, 2022, s. 109,110).

Emniyet, “Havacılık faaliyetleri esnasında muhtemel tüm tehlikelerin proaktif olarak önceden belirlendiği, bu tehlikelerin risk değerlerine ilişkin hesaplamaların yapıldığı, söz konusu risk değerlerinin azaltılması yönünde gerekli tedbirlerin alındığı ve böylelikle kabul edilebilir bir seviyeye getirilen tüm risklerin kontrol altında tutulduğundan emin olma durumu” şeklinde tanımlanmaktadır. Havacılık sektöründe kaza ve olayların önüne geçilebilmek adına emniyet

yönetimi faaliyetleri uygulanmakta ve bu uygulamalar işletmelere emniyet kültürünün güçlenmesi, emniyet iletişiminin gelişmesi, kaza ve olayların azalması gibi faydalar sağlamaktadır (Yeşilbaş, 2020, s. 5-10).

Yeni nesil teknoloji ve araç kullanımı uçak kontrol sistemlerini pozitif yönde etkilemekte, operasyon emniyetini artırmakta, emniyet ve performansı yükseltmektedir. Ancak bununla beraber siber güvenlik açıklarını artırmakta ve potansiyel kayıplara sebep olabilmektedir (Ukwandu vd., 2022, s. 4). Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, havacılıkta dijital dönüşümün operasyon emniyetine etkisini ortaya koymaktır.

### 3. YÖNTEM

Bu çalışmanın temel amacı, havacılık sektöründeki çalışanların dijital dönüşüm düzeyi ile emniyetli davranış düzeylerini incelemektir. Bu araştırma ilişkisel tarama modelinde tasarlanmış ve çalışmada nicel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Araştırmanın evrenini havacılık sektöründeki çalışanlar oluşturmaktadır. Araştırmada zaman ve erişim kısıtları nedeniyle örnekleme yoluna gidilmiş, bu kapsamda toplam 100 çalışandan veri toplanmıştır. Katılımcıların farklı yaş, eğitim, pozisyon ve çalışma süresi gruplarını temsil etmesi, örneklemin çeşitliliğini artırmaktadır. Araştırmada veri toplama aracı olarak anket formu kullanılmıştır. Anket iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde katılımcıların demografik özelliklerini belirlemeye yönelik sorular (cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, pozisyon ve çalışma süresi) yer almaktadır. İkinci bölümde çalışanların dijital dönüşüm düzeyini ölçmek amacıyla Dijital Dönüşüm Ölçeği (Sağlam, 2021) ve emniyetli davranış düzeyini ölçmeye yönelik Emniyetli Davranış Ölçeği (Öney ve Tüm Kılıç, 2023) kullanılmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen veriler IBM SPSS istatistiksel analiz programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular tablolar aracılığıyla sunulmuş ve istatistiksel sonuçlar doğrultusunda yorumlanmıştır.

### 4. BULGULAR

Bu bölümde, araştırma kapsamında elde edilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları sunulmaktadır. Öncelikle katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistiklere yer verilmiş ve değişkenler arası ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, ilgili tablolar aracılığıyla sistematik bir biçimde sunulmakta ve her bir analiz sonucunda ortaya çıkan istatistiksel anlamlılık düzeyleri dikkate alınarak yorumlanmıştır.

**Tablo 1.** Katılımcıların Demografik Özelliklerine İlişkin Dağılımlar

Değişkenler	Gruplar	Frekans (f)	Yüzde (%)
Cinsiyet	Kadın	41	41.0
	Erkek	59	59.0
Medeni durum	Evli	28	28.0
	Bekâr	72	72.0
Yaş	18-25	26	26.0
	26-35	49	49.0
	36-45	14	14.0
	46-55	11	11.0
Pozisyon	Yönetici	10	10.0
	Şef/Amir	20	20.0
	Çalışan	70	70.0
Çalışma süresi	0-1	12	12.0
	1-5	61	61.0
	6-10	10	10.0
	11-15	4	4.0
	16+	13	13.0
Eğitim düzeyi	Lise	1	1.0
	Ön lisans	15	15.0
	Lisans	69	69.0
	Lisansüstü	15	15.0

Araştırma kapsamında ankete katılan 100 personelin demografik özelliklerine ilişkin dağılımlar Tablo 1'de sunulmuştur. Katılımcıların büyük çoğunluğunun bekâr (%72), lisans mezunu (%69) ve çalışan (%70) pozisyonunda olduğu görülmektedir. Yaş dağılımı incelendiğinde örneklemin %49'unun 26-35 yaş aralığında yoğunlaştığı, iş yerindeki kıdem süresi açısından ise %61 ile en büyük grubun 1-5 yıl arası çalışma süresine sahip olduğu saptanmıştır.

**Tablo 2.** Ölçeğe İlişkin Yapı Geçerliliği Bulguları (KMO ve Bartlett Testi)

Ölçek/Boyut	KMO	Bartlett $\chi^2$	sd	p
Dijital Dönüşüm (12 madde)	0.944	1733.80	66	.000
Emniyetli Davranış (6 madde)	0.875	778.12	15	.000
Tüm Ölçek (18 madde)	0.941	2601.24	153	.000

**Tablo 3.** Madde-Toplam Korelasyonları

Madde	r
D1	.927
D2	.906
D3	.930
D4	.900
D5	.863
D6	.936
D7	.879
D8	.874
D9	.885
D10	.847
D11	.807
D12	.801
E1	.874
E2	.919
E3	.932
E4	.881
E5	.872
E6	.820

**Tablo 4.** Ölçeklerin Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Ölçek	Madde Sayısı	Cronbach's Alpha
Dijital Dönüşüm	12	0.978
Emniyetli Davranış	6	0.964
Tüm Ölçek	18	0.978

Ölçeğin yapı geçerliliğini değerlendirmek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterlilik testi ve Bartlett küresellik testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, D boyutu için KMO değeri 0.944, E boyutu için 0.875 ve ölçeğin tamamı için 0.941 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, örneklem büyüklüğünün faktör analizi için yüksek düzeyde uygun olduğunu göstermektedir. Bartlett küresellik testi sonuçlarının tüm boyutlar için istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p < .001$ ) belirlenmiş olup, değişkenler arasında yeterli düzeyde ilişki bulunduğu ve veri setinin faktör analizine uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Madde analizleri kapsamında incelenen düzeltilmiş madde-toplam korelasyonlarının D boyutunda .801 ile .936, E boyutunda ise .820 ile .932 arasında değiştiği görülmüştür. Tüm maddelerin .30 kabul sınırının oldukça üzerinde olması, maddelerin ölçülen yapıyı güçlü biçimde temsil ettiğini ve ölçeğin içsel tutarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

Güvenirlilik analizleri incelendiğinde, Cronbach alpha katsayısının D boyutu için .978, E boyutu için .964 ve ölçeğin tamamı için .978 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler, ölçeğin yüksek düzeyde güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca herhangi bir maddenin ölçekten çıkarılmasının alfa değerinde anlamlı bir artış sağlamadığı görülmüş, bu nedenle tüm maddelerin ölçekte korunmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular ölçeğin hem yapı geçerliliği hem de iç tutarlılık açısından ölçüm yapısının istatistiksel olarak desteklendiğini göstermektedir.

**Tablo 5.** Değişkenler Arası Korelasyon Analizi

Değişkenler	1	2
1. Dijital Dönüşüm	1	
2. Emniyetli Davranış	0.749**	1

Not:  $p < 0.01$

Değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, dijital dönüşüm ile emniyetli davranış arasında pozitif yönlü, yüksek düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ( $r = 0.749$ ,  $p < 0.01$ ).

## SONUÇ

Araştırma bulguları, kullanılan ölçeklerin hem yapı geçerliliği hem de iç tutarlılık açısından yüksek düzeyde güvenilir ölçüm araçları olduğunu ortaya koymaktadır. KMO ve Bartlett testleri veri setinin faktör analizine uygun olduğunu gösterirken, madde-toplam korelasyonlarının yüksek değerler alması ölçek maddelerinin ölçülen yapıyı güçlü biçimde temsil ettiğini göstermektedir. Cronbach alpha katsayılarının yüksek olması ise ölçeklerin güvenilirliğini desteklemektedir.

Korelasyon analizi sonuçlarına göre, dijital dönüşüm ile emniyetli davranış arasında pozitif yönlü ve yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bulgu, dijital dönüşüm düzeyinin artmasının çalışanların emniyetli davranışlarını da artırdığını göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, dijital dönüşüm uygulamalarının yalnızca operasyonel verimlilik açısından değil, aynı zamanda emniyetli davranışların geliştirilmesi açısından da önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle havacılık sektöründe dijital dönüşüm süreçlerinin desteklenmesi, emniyet performansının artırılmasına katkı sağlayabilecek bir unsur olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKÇA

- Macit, A. (2022). Havayolu işletmelerinin dijitalleşme sürecine yerli ve milli destek: Hitit Bilgisayar Hizmetleri A.Ş.'ye yönelik bir inceleme. In C. Harmanşah & H. T. Hava (Eds.), *Havacılık teknolojisi ve uygulamaları* (pp. 105–124). Ege Üniversitesi Yayınları.
- Meydan, CH (2023). Havayolu İşletmelerinde Dijital Dönüşüm Uygulamaları Üzerine Bir İnceleme. *Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 5 (1), 65-82. <https://doi.org/10.51785/jar.1185935>
- Öney, T., & Tüm Kılıç, Y. (2023). Havacılık Sektöründe İş Tutkunluğu Emniyetli Davranışı Etkiler Mi? *Journal of Aviation Research*, 5(2), 129-154. <https://doi.org/10.51785/jar.1333111>
- Sağlam, M. (2021). İşletmelerde Geleceğin Vizyonu Olarak Dijital Dönüşümün Gerçekleştirilmesi Ve Dijital Dönüşüm Ölçeğinin Türkçe Uyarlaması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(40), 395-420. <https://doi.org/10.46928/iticusbe.764373>
- Ukwandu, E., Ben-Farah, M. A., Hindy, H., Bures, M., Atkinson, R., Tachtatzis, C., ... & Bellekens, X. (2022). Cyber-security challenges in aviation industry: A review of current and future trends. *Information*, 13(3), 146.
- Yeşilbaş, E. (2020). Havacılıkta emniyet yönetimi ile ilgili icao mevzuatı ve Türkiye'deki uygulaması.

## OSMANLI DEVLETİ'NDE MUHACİR DUL KADINLARA YÖNELİK SOSYAL YARDIM, İSKÂN VE KORUMA POLİTİKALARI (1856–1918)

**Dr. Özlem KARAPINAR GÖK**  
**ORCID ID:** 0000-0002-5183-0181

### ÖZET

Osmanlı Devleti, XIX. yüzyılın ortalarından itibaren Kırım Harbi, 1877–1878 Osmanlı-Rus Harbi, Balkan Savaşları ve I. Dünya Savaşı gibi siyasi ve askerî krizler sonucunda milyonlarca Müslüman muhacirin imparatorluk topraklarına yönelmesiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu zorunlu göç hareketleri, Osmanlı sosyal yapısında derin dönüşümlere yol açmış; devlet, muhacirlerin iskânı ve iâşesi meselesini bir güvenlik ve beka sorunu kadar sosyal bir sorumluluk alanı olarak da ele almak zorunda kalmıştır. Bu bağlamda, muhacir dul kadınlar, hem ekonomik hem de toplumsal kırılganlıkları sebebiyle özel bir ilgi ve müdahale alanı hâline gelmiştir. Bu çalışma, başta Üsküb sancağı olmak üzere Rumeli, Anadolu ve Dersaadet'te muhacir dul kadınlara yönelik yürütülen iâşe, yakacak, barınma, sağlık, maaş, evlendirme ve sosyal koruma politikalarını Osmanlı arşiv belgeleri ışığında incelemektedir. Belgeler, dul muhacir kadınlara yapılan yardımların rastlantısal veya hayırseverliğe dayalı değil; Muhacirin Komisyonları, belediyeler, Dahiliye Nezareti ve Evkaf gibi kurumlar aracılığıyla düzenli, kayıtlı ve denetimli bir şekilde yürütüldüğünü göstermektedir. Özellikle Üsküb Muhacirin Komisyonu kayıtları, muhacir dul kadınların günlük hayat ihtiyaçlarının ayrıntılı biçimde takip edildiğini ortaya koymaktadır. Belgelerde çamaşır yıkamak üzere kıyye hesabıyla verilen odun yardımları, kış aylarında sağlanan kömür tahsisleri, asker şehidi eşlerine bağlanan ekmek tayinatları ve kira bedelleri dikkat çekmektedir. Dul muhacir kadınların mahalle, han ve köy bazında tespit edilerek yardım almaları, Osmanlı bürokrasisinin mikro düzeyde işleyen sosyal yardım mekanizmalarını gözler önüne sermektedir. Bunun yanı sıra, muhacir dul kadınlar için dulhaneler, eytamhaneler ve hastaneler tesis edilmiş; Gülhane'deki Kırmızı Kışla gibi yapılar uzun süre bu amaçla kullanılmıştır. Savaş ve afet dönemlerinde kapasitenin yetersiz kalması üzerine barakalar inşa edilmiş, kiralama yoluna gidilmiş veya taşraya sevk gibi alternatif çözümler üretilmiştir. Genç ve kimsesiz dul kadınların evlendirilmesi, çocuklarının Darüleytam ve sanayi mekteplerine yerleştirilmesi ise devletin ahlaki ve toplumsal düzeni koruma yönündeki müdahalelerini yansıtmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma, Osmanlı Devleti'nin muhacir dul kadınları sadece yardıma muhtaç bireyler olarak değil, korunması, kontrol edilmesi ve toplumsal yapıya yeniden entegre edilmesi gereken bir grup olarak gördüğünü ortaya koymaktadır. Bu yönüyle muhacir dul kadınlara yönelik politikalar, geç Osmanlı döneminde

sosyal devlet anlayışının kurumsallaşma sürecini anlamak açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Osmanlı Devleti, Muhacirler, Dul Kadınlar, Sosyal Yardım, İskân Politikaları, Muhacirin Komisyonu, Sosyal Devlet.

### **SOCIAL AİD, SETTLEMENT, AND PROTECTION POLİCİES FOR WİDOWED IMMİGRANT WOMEN İN THE OTTOMAN EMPIRE (1856–1918)**

#### **ABSTRACT**

From the mid-nineteenth century onward, the Ottoman Empire faced the arrival of millions of Muslim immigrants as a result of political and military crises such as the Crimean War, the Russo-Ottoman War of 1877–1878, the Balkan Wars, and the First World War. These forced migration movements led to profound transformations in Ottoman social structure, compelling the state to address the issue of immigrant settlement and subsistence not only as a matter of security and survival, but also as an area of social responsibility. Within this context, widowed immigrant women emerged as a group requiring particular attention and intervention due to their economic and social vulnerability. This study examines the policies of subsistence, fuel provision, housing, healthcare, salaries, remarriage, and social protection implemented for widowed immigrant women in Rumelia, Anatolia, and Dersaadet (Istanbul), with a primary focus on the Sanjak of Üsküb (Skopje), based on Ottoman archival documents. The documents demonstrate that assistance provided to widowed immigrant women was neither arbitrary nor based solely on charity; rather, it was conducted in a systematic, registered, and supervised manner through institutions such as the Immigrants' Commissions (Muhacirin Komisyonları), municipalities, the Ministry of the Interior (Dahiliye Nezareti), and the Ministry of Pious Foundations (Evkaf). In particular, the records of the Üsküb Immigrants' Commission reveal that the daily needs of widowed immigrant women were monitored in great detail. Archival documents highlight firewood assistance calculated in kıyye units for laundry purposes, coal allocations provided during winter months, bread rations granted to the wives of fallen soldiers, and rental payments. The identification of widowed immigrant women at the level of neighborhoods, inns, and villages for the distribution of aid illustrates the micro-level functioning of Ottoman bureaucratic social assistance mechanisms. Furthermore, facilities such as widow houses (dulhaneler), orphanages (eytamhaneler), and hospitals were established for widowed immigrant women; buildings such as the Kırmızı Kışla in Gülhane were used for this purpose for extended periods. During times of war and disaster, when capacity proved insufficient, alternative solutions were implemented, including the construction of barracks, renting additional buildings, or relocating individuals to provincial areas. The remarriage of

young and unprotected widows and the placement of their children in orphanages (Darüleytam) and vocational schools reflect the state's interventions aimed at preserving moral order and social stability. In conclusion, this study demonstrates that the Ottoman Empire viewed widowed immigrant women not merely as individuals in need of assistance, but as a group that required protection, supervision, and reintegration into the social order. In this respect, policies directed toward widowed immigrant women constitute a significant example for understanding the institutionalization of the social state concept in the late Ottoman period.

**Keywords:** Ottoman Empire, Immigrants, Widowed Women, Social Aid, Settlement Policies, Immigrants' Commission, Orphans, Social State.

## ERKEN CUMHURİYET DÖNEMİ GÖÇ VE İSKÂN POLİTİKALARI: MUŞ-BULANIK ÖRNEĞİ (1924-1945)

Dr. Özlem KARAPINAR GÖK

ORCID ID: 0000-0002-5183-0181

### ÖZET

Bu çalışma, 1945 yılına ait mülkiye müfettiş raporları ve arşiv vesikaları ışığında, Cumhuriyet'in ilk yirmi yılında Muş'un Bulanık (Kop) ilçesinde yürütülen demografik düzenlemeleri ve iskân faaliyetlerini ele almaktadır. 1924-1935 yılları arasında kapsayan bu süreçte Bulanık, devletin stratejik nüfus planlaması doğrultusunda seçilen kilit bölgelerden biri olmuştur. Belgeler, ilçeye yapılan göçlerin tesadüfi olmadığını, aksine millî bir bünye oluşturma gayesiyle Türk soylu grupların bölgeye nakledildiğini göstermektedir. İskân hareketlerinin temelini; 1926-1931 yıllarında Tiflis-Ahılke (Ahılkelek) bölgesinden gelen Karapapak Türkleri, 1932-1935 yılları arasında Ahıska ve Erivan'dan sığınan muhacirler ve 1932 yılında Bakanlar Kurulu kararıyla Kars'ın Çıldır (Zurzuna) bölgesinden nakledilen aileler oluşturmaktadır. Ayrıca, daha önce Elazığ'a yerleştirilen ancak iklim uyumsuzluğu nedeniyle Bulanık'a aktarılan 100 hanelik Karapapak grubu, iskân politikasındaki pragmatik yaklaşımı yansıtmaktadır. 1945 yılı verilerine göre kaza merkezi ve çevre köylerde toplam 575 hane ve 3162 nüfusa ulaşan bu göçmen kitlesi, bölgenin sosyo-ekonomik çehresini değiştirmiştir. Arşiv kayıtları, devletin göçmenleri topraklandırma, konut sağlama ve üretim araçları ile destekleme süreçlerini detaylıca sunarken; göçmenlerin yerel halkla uyumu, mülkiyet sorunları ve idari aksaklıkları da rapor etmiştir. Sonuç olarak Bulanık örneği, Erken Cumhuriyet Dönemi'nde Doğu Anadolu'da asayişin teşkili, tarımsal kalkınma ve ulus-devlet inşası süreçlerinin nasıl iç içe geçtiğini belgeleyen somut bir örnektir.

**Anahtar Kelimeler:** Muş, Bulanık, Göç, İskân Siyaseti, Karapapaklar, Ahıska Muhacirleri, Nüfus Politikası.

### MIGRATION AND SETTLEMENT POLICIES IN THE EARLY REPUBLICAN PERIOD: THE CASE OF MUŞ-BULANIK (1924-1945)

#### ABSTRACT

This study examines the demographic arrangements and settlement activities carried out in the Bulanık (Kop) district of Muş during the first twenty years of the Republic, in light of 1945 civil inspector reports and archival documents. Between 1924 and 1935, Bulanık became one of the key regions selected in accordance with the state's strategic population planning. The documents show that the migrations to the district were not random; rather, groups of Turkish origin were deliberately relocated to the area with the aim of creating a cohesive national fabric. The settlement movements were primarily composed of Karapapak Turks arriving from the

Tiflis-Ahılke (Ahılkelek) region between 1926 and 1931, refugees from Ahıska and Erivan between 1932 and 1935, and families relocated from the ıldır (Zurzuna) region of Kars by decision of the Council of Ministers in 1932. Additionally, a group of 100 Karapapak households, previously settled in Elazığ but transferred to Bulanık due to climatic incompatibility, reflects the pragmatic approach of the settlement policy. According to 1945 data, this migrant population reached a total of 575 households and 3,162 individuals in the district center and surrounding villages, significantly transforming the socio-economic landscape of the region. Archival records provide detailed accounts of the state's processes for granting land, providing housing, and supporting migrants with means of production, while also reporting the migrants' integration with local populations, property disputes, and administrative shortcomings. In conclusion, the case of Bulanık offers a concrete example of how law and order, agricultural development, and nation-state building intertwined in Eastern Anatolia during the Early Republican Period.

**Keywords:** Muş, Bulanık, Migration, Settlement Policy, Karapapaks, Ahıska Refugees, Population Policy

## KATILIM VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK BAĞLAMINDA HALKLA İLİŞKİLER VE KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI

**Öğr. Gör. Dr. Hacer Hande ERGİN ÇAĞATAY**

Bitlis Eren Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis-Türkiye

ORCID:0000-00002-3774-2572

### ÖZET

Kültürel miras, toplumların kolektif hafızasını oluşturan maddi ve manevi değerlerden meydana gelen ve toplumların kimlik, aidiyet ve süreklilik duygusunu besleyen temel unsurlardan birisidir. Bu mirasın korunarak gelecek kuşaklara aktarılması sadece konunun uzmanlarının yöneteceği bir süreç değil; aynı zamanda toplumsal farkındalık, katılım ve iletişim gerektiren sosyal bir olgudur. Bu bağlamda halkla ilişkiler disiplini kültürel miras yönetiminde stratejik bir araç olarak önemli rol oynar. Halkla ilişkiler, karşılıklı iletişim ve güvene dayalı ilişkilerin inşa edilmesini amaçlayan, planlı ve sürekli bir süreçtir. Halkla ilişkiler; yalnızca tanıtım değil iletişim yönetimi, medya ilişkileri, kriz yönetimi, toplumsal katılım ve algı yönetimi gibi çok sayıda iletişim işlevini içerir. Bu işlevlerin tamamı kültürel mirasın korunmasında önemli fonksiyonlara sahiptir. Bu çalışmada halkla ilişkiler ile kültürel miras arasındaki ilişki incelenmiş, kültürel mirasın yalnızca teknik koruma süreçlerinden ibaret olmadığını; aksine toplumsal katılım, iletişim stratejileri, farkındalık çalışmaları, marka yönetimi ve dijitalleşme temelli geniş bir etkileşim alanı gerektirdiği tespit edilmiştir. Kültürel miras alanlarında kullanılan iletişim kampanyaları, destinasyon markalaşması, dijital miras yönetimi ve kriz iletişimi gibi uygulama örnekleri değerlendirilerek Türkiye ve dünyadan örneklerle konunun gündeme getirilmesi hedeflenmiştir. Derleme niteliğindeki bu çalışmada halkla ilişkilerin kültürel miras yönetimi ve sürdürülebilirliği üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde incelenerek; iletişim temelli yaklaşımların kültürel miras politikalarındaki belirleyici rolü ve çeşitli önerilerle halkla ilişkilerin kültürel mirasın korunması için neler yapabileceği ortaya konmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Halkla ilişkiler, kültür, kültürel mirasın korunması, sürdürülebilirlik.

### PUBLIC RELATIONS AND THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE IN THE CONTEXT OF PARTICIPATION AND SUSTAINABILITY ABSTRACT

Cultural heritage is a fundamental element that constitutes the collective memory of societies, comprised of tangible and intangible values, and nourishes societies' sense of identity, belonging, and continuity. Preserving and transmitting this heritage to future generations is not only a process managed by experts in the field; it is also a social phenomenon requiring social awareness, participation, and communication. In this context, the discipline of public relations

plays a significant role as a strategic tool in cultural heritage management. Public relations is a planned and continuous process aimed at building relationships based on mutual communication and trust. Public relations encompasses numerous communication functions, including not only promotion but also communication management, media relations, crisis management, social participation, and perception management. All of these functions are crucial in the preservation of cultural heritage. This study examines the relationship between public relations and cultural heritage, finding that cultural heritage is not solely comprised of technical preservation processes; rather, it requires a broad field of interaction based on social participation, communication strategies, awareness campaigns, brand management, and digitalization. By evaluating examples of communication campaigns used in cultural heritage areas, destination branding, digital heritage management, and crisis communication, the study aims to highlight the issue with examples from Turkey and around the world. This compilation examines comprehensively the effects of public relations on cultural heritage management and sustainability; it also attempts to reveal the decisive role of communication-based approaches in cultural heritage policies and, through various suggestions, what public relations can do for the preservation of cultural heritage.

**Keywords:** Public relations, culture, preservation of cultural heritage, sustainability.

## GİRİŞ

Kültür, bir toplumun davranış biçimleri, örf ve adetleri, gelenek ve görenekleri, toplumda var olan toplumsal beceri ve kapasitenin tamamını içeren bir kavram olup yer aldığı toplumun medeniyet düzeyini yansıtan bir özellik taşır. Kültür, toplumun bir arada uyum içinde yaşamasında oldukça etkili bir role sahiptir (Akgün vd. 2024: 51). Latince kökenli bir kelime olan kültür, en temel olarak ekip biçmek anlamına gelmektedir. Kullanıldığı alana göre farklı anlamlara gelmekle birlikte; bireyin ve toplumun kimlik inşasında önemli rol oynayan, sosyal hayatın temel taşlarından birisi olan kültür, toplumda yer alan üyeler tarafından paylaşılan inanç, değer, norm, sembol ve pratiklerin tamamı olarak nitelenir (Yıldırım, 2025: 9-12).

Toplumların geçmişten geleceğe taşıdığı her türlü maddi ve manevi değerlerin tamamı kültürel miras kavramı ile tanımlanır. UNESCO kültürel mirası “geçmişten miras alınan, günümüzde yaşatılan ve gelecek nesillere aktarılacak olan fiziksel eserler ve soyut kültürel öğeler” şeklinde tanımlamıştır (Sarı-Gök, 2022:220; Yıldırım, 2025: 68; Koşan, 2025: 209).

Bir toplumun kimliğini ve tarihsel sürekliliğini anlamak açısından kültürel mirasın korunması büyük önem taşımaktadır. Kültürel miras; anıtlar, mimari yapılar, arkeolojik alanlar, geleneksel

el sanatları ve toplumsal pratikler gibi hem somut hem de somut olmayan unsurları kapsamaktadır (Güleç & Yalçın, 2025).

Coğrafi konumu itibariyle medeniyetlerin buluştuğu bir noktada bulunan, zengin ve köklü bir tarihe sahip olan Türkiye; sahip olduğu somut ve somut olmayan kültürel miras unsurları ile dikkat çeken bir ülkedir.

Kültürel mirası korumak ve özen göstermek; önceki kuşakların oluşturduğu ve aktardığı zenginlikleri görme, anlama, onunla yaşama ve gelecek kuşaklara aktarma fırsatı verir. Bunun için bu mirası korumada; bütünlük bir anlayış çerçevesinde halkın katılımının sağlandığı ve teknolojik yeniliklerin doğru şekilde uygulandığı faaliyetler gerçekleştirilmelidir. Bu konuda uluslararası etik standartlar belirlenmiş olup konuya ilişkin yetkili kişiler tarafından norm ve standartlara uygun bir şekilde durum yönetimi yapılır (Koşan, 2025: 211).

Derleme niteliğindeki bu çalışmada Türkiye'deki somut ve somut olmayan kültürel miras öğelerinin en iyi şekilde korunarak gelecek nesillere aktarılması konusunda halkla ilişkiler uygulayıcılarının neler yapabileceği ele alınmış, konuya ilişkin geniş kapsamlı bir literatür taraması yapılarak çeşitli öneriler sunulmuştur.

## **SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK EKSENİNDE KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE GELECEK KUŞAKLARA AKTARILMASI**

Küreselleşmenin hızla arttığı günümüzde toplumlar giderek birbirine benzemekte, toplumları birbirinden ayıran kültürel unsurlar yok olabilmektedir. Bu bağlamda kültürel mirasın korunup gelecek kuşaklara aktarılması daha da önemli hale gelmektedir (Yıldırım, 2025: 68). Günümüzde kültürel mirasın korunup en iyi şekilde gelecek kuşaklara aktarılması toplumların öncelik verdiği konulardan birisidir. Kültürel mirasın korunması ve yönetilmesi hassas bir konu olup ayrıntılı kurallar çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden Türkiye'de bu konuda az sayıda uzman kişi bu faaliyet alanında görev almaktadır (Koşan, 2025: 209). Ancak mevcut kültürel mirasın korunması ve yönetimi, yalnızca konunun uzmanları tarafından gerçekleştirilemez. Bu konuda halkın desteğini almak önemli bir yaklaşımdır. Mevcut kültürel miras unsurlarının belirlenmesi için eksiksiz bilgi envanterlerinin doğru bir şekilde oluşturulmasından, konuya ilişkin kararların alınmasına kadar sürecin her aşamasında halkın rol alması önemlidir. Ülkedeki kültürel mirası korumak için halkın katılımını sağlamak; mevcut mirasın korunması, yönetimi ve tanıtılması böylece toplumda kültürel mirasa sahip çıkma algısının oluşturulmasına katkı sağlar (Koşan, 2025: 209).

Kültürel mirasın korunması yalnızca fiziksel restorasyon çalışmalarıyla sınırlı değildir. Toplumun kültürel mirasa ilişkin farkındalık geliştirmesi ve bu değerleri sahiplenmesi de koruma sürecinin önemli bir parçasıdır. Bu noktada iletişim çalışmaları ve özellikle halkla ilişkiler uygulamaları kültürel mirasın korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Halkla ilişkiler, kurumlar ile hedef kitleler arasında karşılıklı anlayış ve güven oluşturarak kamuoyu desteği sağlamayı amaçlayan stratejik bir iletişim yönetimi sürecidir. Bu nedenle kültürel mirasın korunması konusunda kamuoyu oluşturma, bilinçlendirme ve katılım sağlama süreçlerinde halkla ilişkiler faaliyetleri önemli bir araç haline gelmektedir (Öztoşun, 2024). Bu desteği sağlamada çift yönlü, diyalogik bir halkla ilişkiler stratejisinin planlanması bir ihtiyaçtır.

## **SOMUT KÜLTÜREL MİRAS VE SOMUT OLMAYAN KÜLTÜREL MİRAS**

### **Somut Kültürel Miras**

Kültürel miras unsurları toplumun geçmişi ve geleceği arasında bir köprü kurarak kuşaklar arası iletişimin sağlanmasında önemli bir role sahiptir. Toplumun sahip olduğu kültürel değerlerin kaybolması toplumsal bağları zayıflatarak bireylerin toplumsal hafıza oluşumunda olumsuz bir etki yaratır. Aynı zamanda bireyde hangi kültüre ait olduğunu bilmemekten kaynaklı benlik kaybı duygusuna yol açar. Bu sebepler kültürel mirasın korunarak ulusal kimliğin oluşumu, korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması gerekliliğini ortaya çıkarır. Bu gerekliliğinin bir sonucu olarak dünya üzerinde var olan kültürel miras unsurları UNESCO tarafından belirlenip somut olan kültürel miras ve somut olmayan kültürel miras unsurları şeklinde tescillenmektedir. (Sarı-Gök, 2022: 220).

Somut olan kültürel miras, geçmişten günümüze izler taşıyan ve fiziksel olarak maddi bir varlığı bulunan kültürel unsurları içerir. Anıtlar, heykeller, arkeolojik alanlar, tarihi eserler, el yazmaları ve benzeri birçok maddi kültür unsuru somut kültürel miras çerçevesinde değerlendirilir. İnsanlığın gelişim sürecinde teknoloji ve mimarideki gelişmeler, kültürel etkileşimler somut kültürel mirasın zenginleşmesini de önemli etkilere sahiptir. Örneğin Rönesans hareketleri, barok ve neoklasik akımlar günümüzdeki mimari çeşitliliğin temelinde yer almaktadır (Yıldırım, 2025: 78-79).

### **Somut Olmayan Kültürel Miras**

Somut olmayan kültürel miras ise, somut unsurlardan farklı olarak kültürel unsurların bütünsel bir biçimde ele alınmasını içeren bir kavram olup toplulukların gelenek, görenek, inanç, dil, sanat, bilgi, beceri ve tüm soyut öğelerini içine alır. UNESCO somut olmayan kültürel mirası “toplumların, grup ve bireylerin kültürel kimliklerini oluşturan, devamlı yeniden yaratılan ve

nesilden nesile aktarılan uygulama, temsil, anlatım bilgi ve becerilerin tamamı” şeklinde tanımlamıştır. Bu konudaki en önemli örneklerden birisi Japonya’nın Noh Tiyatrosudur (Yıldırım, 2025: 82).

UNESCO dünya kültürel mirasının korunması için Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşmeyi 1972 yılında kabul etmiş, daha sonraki yıllarda somut ve somut olmayan kültürel miras öğelerinin korunması konusunda daha kapsamlı çeşitli düzenlemeler yapmıştır (Yıldırım, 2025: 69).

17 Ekim 2003’te UNESCO’nun Paris’te düzenlediği bir konferansla “Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi” kabul edilmiştir. Bu sözleşme 2006 Ocak ayında Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde de kabul edilmiştir (Akgün vd. 2024: 49).

Somut olmayan kültürel miras; toplumların kültürel kimliğini oluşturan gelenekler, anlatımlar, ritüeller, el sanatları ve çeşitli uygulamaları kapsamaktadır. Bu mirasın korunması ve kuşaktan kuşağa aktarılması kültürel sürekliliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi de kültürel mirasın korunması, bu alanda farkındalık oluşturulması ve toplulukların sürece aktif katılımının sağlanmasını amaçlamaktadır (Ünlü vd. 2023: 182).

### **Somut Olmayan Kültürel Miras Konuları**

- El Sanatları (dokumacılık, ebru, tezhip, el yazmacılığı, çinicilik vb.)
- Sözlü gelenekler ve anlatımlar (eski halk hikayeleri, deyimler, atasözleri, yeminler, fıkralar, selamlaşma şekilleri vb.)
- Gösteri Sanatları (Halk tiyatrosu, kuklacılık, meddahlık, karagöz vb.)
- Ritüeller ve Toplumsal Şölenler (Düğün, doğum, nevruz, kutlama vb.)
- Doğa ve evren (Geleneksel yemekler, halk hekimliği, yerel meteoroloji, yerel hekimlik vb.) (Akgün vd., 2024, s.55).

### **UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi**

UNESCO, İngilizce “United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization” kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmış halidir (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu). Dünya genelinde 191 ülke UNESCO üyesidir. Dünyadaki kültürel zenginliklerin korunmasını ve gelecek kuşaklara aktarılmasını amaçlayarak çalışmalarını gerçekleştiren UNESCO kültürel mirasın sürdürülebilirliğini ve çeşitliliğini sağlamada oldukça etkin bir rol oynamaktadır. Türkiye 20.05.1946 tarihinde UNESCO Sözleşmesi’ni onaylayarak UNESCO Türkiye Milli komisyonunu kurmuştur (Akgün vd., 2024: 53).

## KÜLTÜREL MİRASI AKTARMA YÖNTEMLERİ

Ülkelerin sahip olduğu kültürel miras unsurlarının korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması üzerinde önemle durulan bir konudur. Kültürel mirasın toplumsal kimliklerin korunmasında ve kültürel sürekliliğin sağlanmasında taşıdığı önem bu konuda etkilidir. Kültürel miras unsurlarının korunup gelecek kuşaklara aktarılmasında etkili olan temel yöntemler şunlardır:

- Aile içi eğitim,
- Örgün eğitim
- Yerel festivaller ve şenlikler
- El sanatları ve zanaat atölyeleri (Güleç & Yalçın, 2025: 49-50).

## KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA TOPLUMSAL KATILIM VE HALKLA İLİŞKİLER

Kültür hayata dair bilgi ve davranışların iletilip geliştirildiği, dönüştürülerek gelecek kuşaklara aktarıldığı bir süreçtir. Halkla ilişkiler bu süreçte; anlam üretme, bu anlamlarda sürdürülebilirliği sağlama ve düzenleme görevi üstlenir (Artan Özoran, 2020: 227). Bu bağlamda halkla ilişkiler faaliyetlerinin kültürel aracılık niteliğinin anlaşılması ve uygulamaya geçirilmesi bir gerekliliktir. Çünkü halkla ilişkiler mesleğinin karşılıklı diyalog içinde bulunduğu hem etkilenip hem de etkilediği toplumdan ayrı düşünülmesi mümkün değildir (Özkan, 2018: 78).

Kültürel miras alanında yapılan çalışmalar, kültürel değerlerin korunması için yalnızca hukuki düzenlemelerin yeterli olmadığını, toplumun bu sürece aktif katılımının gerektiğini göstermektedir. Kültürel miras yönetiminde başarılı sonuçlar elde edilmesi için yerel halkın, sivil toplum kuruluşlarının ve diğer paydaşların sürece dahil edilmesi gerekmektedir. Nitekim kültürel miras yönetimi üzerine yapılan çalışmalar, halkın katılımının sağlanmasının koruma süreçlerinin etkinliğini artırdığını vurgulamaktadır (Koşan, 2025: 222).

Halkla ilişkiler, kültürel mirasın korunması sürecinde paydaşlar arasında iletişim kurulmasını sağlayan önemli bir araçtır. Halkla ilişkiler faaliyetleri sayesinde kültürel miras alanında yürütülen projeler hakkında toplum bilgilendirilebilir, farkındalık kampanyaları düzenlenebilir ve toplumun bu süreçte aktif rol alması teşvik edilebilir. Kültürel mirasın korunmasında iletişim stratejilerinin kullanılması aynı zamanda kültürel değerlerin ulusal ve uluslararası düzeyde tanıtılmasına da katkı sağlamaktadır (Özkan, 2024:178).

## Dijital Halkla İlişkiler ve Kültürel Miras

Günümüzde giderek yaygınlaşan dijital iletişim araçları kültürel mirasın korunması ve tanıtılmasında oldukça önemli bir yere sahiptir. Sosyal medya, web siteleri ve dijital sergiler gibi platformlar aracılığıyla kültürel miras değerleri geniş kitlelere ulaştırılabilmektedir. Dijital iletişim sayesinde özellikle genç kuşakların kültürel mirasa olan ilgisinin arttığı görülmektedir.

Kültürel mirasın dijital ortamda tanıtılması, kültürel değerlerin uluslararası düzeyde görünürlük kazanmasında etkili bir yoldur. Uluslararası kültürel organizasyonların dijital iletişim faaliyetlerini inceleyen çalışmalar, bu faaliyetlerin kültürel etkileşimi artırdığını ve kültürel mirasın daha geniş kitlelere ulaştırılabildiğini göstermektedir ((Koşan, 2025: 220-221)).

Küreselleşmenin etkisiyle kültürlerin tek tipleşme tehlikesi artarken, dijital medya aynı zamanda kültürel unsurların daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlayabilecek bir potansiyel taşımaktadır. Ancak somut olmayan kültürel mirasın büyük ölçüde sözlü aktarım ve usta-çırak ilişkisine dayanan yapısı, yalnızca dijital ortamlarda varlığını sürdürmesinin yeterli olmayacağını göstermektedir. Bu nedenle dijital platformların geleneksel aktarım süreçlerinin yerine geçmesi değil, onları destekleyen araçlar olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, somut olmayan kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılabilmesi için dijital medyanın etkin ve bilinçli biçimde kullanılması önem taşımaktadır. Medya kuruluşlarının bu alandaki habercilik yaklaşımını geliştirmesi, içeriklerin daha kapsamlı ve bilgilendirici şekilde hazırlanması ve kültürel mirasın toplumsal farkındalık oluşturacak biçimde ele alınması gerekmektedir. Aksi takdirde dijitalleşen medya ortamında bu mirasın yeterince görünür olamaması ve sürdürülebilir biçimde aktarılmasının zorlaşması kaçınılmaz olacaktır (Kılınç, 2024: 464-466).

Kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması, toplumların kültürel kimliğinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüzde dijital teknolojiler bu mirasın belgelenmesi, korunması ve tanıtılması için önemli imkânlar sunmaktadır. Üç boyutlu modelleme, lazer tarama, 360 derece panorama görüntüleme ve sanal gerçeklik gibi teknolojiler sayesinde kültürel varlıklar dijital ortamda yeniden oluşturulabilmekte ve daha geniş kitlelere ulaştırılabilmektedir (Büyükkuru, 2023: 147).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Akgün ve arkadaşlarının (2024) belirttiği gibi kültürler; gelenekler, coğrafya, iklim ve inanç gibi birçok unsurun etkisiyle çeşitlenmektedir. Ancak küreselleşme ve tek tipleşme süreci, toplumların kültürel değerlerini tehdit ederek özellikle somut olmayan kültürel mirasın korunmasını daha da önemli hale getirmektedir. Sözlü gelenekler, gösteri sanatları, toplumsal ritüeller ve geleneksel el sanatları gibi unsurlar, kültürel kimliğin sürdürülmesi açısından gelecek kuşaklara aktarılması gereken değerlerdir. Bu mirasın korunmasında stratejik iletişim önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle dijital platformlar ve arşivler aracılığıyla kültürel mirasın daha geniş kitlelere ulaştırılması, farkındalık oluşturulması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması mümkündür. Bu süreçte kamu kurumları, üniversiteler ve toplumun farklı kesimlerinin iş birliği içinde hareket etmesi büyük önem taşımaktadır.

Kültürel mirasın korunup gelecek kuşaklara aktarılması konusunda halkın bilinçlendirilmesi üye devletler tarafından Amsterdam Bildirgesinde kabul edilmiştir. Bunun için modern iletişim teknolojilerini kullanarak halkın bilgi ve ilgisini artırıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir (Koşan, 2025: 222).

Konuya ilişkin gerçekleştirilen halkın katılımına yönelik çalışmaların verimli olabilmesi için sürdürülebilir ve sürekli olması gerekir. Bu yüzden kültürel mirasın korunmasında toplumsal farkındalık oluşturabilmek adına uygulanacak halkla ilişkiler çalışmalarında mevcut durumun doğru analiz edilmesi, hedef kitlenin doğru tespit edilmesi, en doğru araç ve yöntemin seçilerek hedef kitleyle iletişim kurulması, farklı alanlardan uzmanlarla bir araya gelinerek fikir birliğine varılması yoluyla çalışmaların sürekliliği ve sürdürülebilirliğinin sağlanması önemlidir (Öztoşun, 2024: 52-53).

Koşan'ın da (2025) belirttiği gibi kültürel mirasın koruma bilincinin oluşturulmasında toplumun eğitimi ve medyanın doğru kullanımı önemlidir. Bu kullanım toplumun duygusal bağlarını güçlendirir. Tarihsel olaylara ve ritüellere ilişkin hikayelerle kültürel miras konusunda aidiyet duygusu oluşturulabilir. Bu yaklaşım bireylerin kültürel mirası koruma ile ilgili sorumluluk bilincini artırır. Bu konuda halkın desteğini elde etmek için halkla ilişkiler faaliyetlerini doğru bir şekilde planlayarak bunu halka anlatmak, iş birliği yapmak doğru bir yaklaşımdır. Bu konuda dijital halkla ilişkiler kapsamında sosyal medya platformları kullanılabilir.

Halkla ilişkiler profesyonelleri kültürel mirasın korunması sürecinde çeşitli iletişim stratejileri geliştirebilirler. Öncelikle toplumun kültürel miras konusunda bilinçlendirilmesi için medya kampanyaları, sosyal medya projeleri ve eğitim programları düzenlenebilir.

Bu tür iletişim faaliyetleri kültürel mirasın toplum tarafından tanınmasını ve sahiplenilmesini sağlamaktadır. Özellikle dijital iletişim araçları sayesinde kültürel miras hakkında geniş kitlelere ulaşmak mümkün hale gelmiştir.

Araştırmalar, kültürel miras alanında yürütülen iletişim çalışmalarının toplumun farkındalık düzeyini artırdığını göstermektedir. Örneğin yerel halkın kültürel mirasa yönelik farkındalığını inceleyen bir araştırma, bireylerin kültürel mirasın korunmasına yönelik tutumlarının farkındalık düzeyi ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Duman, 2024:12). Bu durum, halkla ilişkiler faaliyetlerinin kültürel mirasın korunmasında ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Kültürel mirasın korunmasında halkın katılımı, mirasa yönelik farkındalığın ve sahiplenme duygusunun artmasını sağlayarak koruma çalışmalarını güçlendirmektedir. Ancak bu katılımın başarılı olabilmesi için sürecin açık ve anlaşılır olması, ayrıca güçlü bir yasal altyapı ile desteklenmesi gerekmektedir. Yerel halkın bilgi ve deneyimlerinin sürece dâhil edilmesi, kültürel mirasın korunması ve tanıtılmasında daha sürdürülebilir ve etkili sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Koşan, 2025: 222-223).

Sonuç olarak, kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılmasında yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde yürütülecek çalışmalar önemli rol oynamaktadır. Türkiye, UNESCO gibi uluslararası kuruluşlarla iş birliği yaparak kültürel mirasını korumaya ve tanıtmaya yönelik politikalar geliştiren ülkeler arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda küreselleşme sürecinin yerel kültürel unsurlar üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların artırılması ve uluslararası standartlara uygun koruma politikalarının sürdürülmesi kültürel mirasın sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır (Güleç & Yalçın, 2025: 52-53).

Kültürel mirasın korunması yalnızca fiziksel koruma çalışmalarıyla değil, aynı zamanda toplumun bilinçlendirilmesi ve kültürel değerlerin tanıtılması ile mümkündür. Bu süreçte halkla ilişkiler faaliyetleri önemli bir rol oynamaktadır. Halkla ilişkiler uzmanları tarafından yürütülen iletişim kampanyaları, eğitim projeleri ve dijital iletişim çalışmaları sayesinde toplumun kültürel mirasa olan ilgisi artırılabilir. Bu nedenle kültürel miras alanında faaliyet gösteren kurumların iletişim stratejilerinde halkla ilişkiler uygulamalarına daha fazla yer verilmesi gerekmektedir. Böylece kültürel mirasın korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması daha sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilebilir.

## Kaynakça

- Akgün, MU. Gürel, BM. ve Koçoğlu, CM. (2024). Bir Toplumun Hafızası: Türkiye'nin Somut Olmayan Kültürel Mirasının Önemi ve Geleceğe Aktarılması. *Kara Elmas Sosyal Bilimler Dergisi*, 2 (1), 49-66.
- Artan Özoran, B. (2020). Halkla İlişkileri Sosyo-Kültürel Perspektiften Değerlendirmek: Kültürel Aracı Bir Meslek Olarak Halkla İlişkiler. *İleti-ş-im Dergisi*, 32, 220-240.
- Büyükkuru, M. (2023). Kültürel Mirasın Aktarımında Dijital Teknolojilerin Kullanımı. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, 13(İhtisaslaşma), 134-150. <https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1309699>
- Duman, H., Küttüklü, D., & Avcıkurt, C. (2025). Yerel Halkın Somut Olmayan Kültürel Miras Unsurlarına İlişkin Farkındalığının Belirlenmesi: Balıkesir Örneği. *Gümüşhane University Journal of Social Sciences*, 16(2), 511-528. <https://izlik.org/JA35JC85GD>
- Güleç, S., & Yalçın, A. (2025). Kültürel Mirasın Aktarılmasında Yerel Kültürel Unsurların Rolü, İzmir Sosyal Bilimler Dergisi, 7 (1), 44-58, DOI: 10.47899/ijss.1573894.
- Kılınç, E. P. (2024). Türkiye'de Somut Olmayan Kültürel Mirasın Medyaya Yansımaları ve Kültür Endüstrisi Sorunu. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 54, 453-469. <https://doi.org/10.52642/susbed.1476209>
- Koşan, D. (2025). Kültürel Miras Koruma ve Yönetim Süreçlerine Halkın Aktif Katılımının Sağlanması Üzerine Bir Değerlendirme, *International Journal of Humanities and Art Researches | Uluslararası İnsan ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, 10 (2), 209-226, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15669440>, <https://izlik.org/JA65KR64LF>
- Özkan, G. (2018). Halkla İlişkilerin Toplumsal Rolüne İlişkisel Bir Bakış: Sosyo-Kültürel Yaklaşım. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 73-80. <https://doi.org/10.18037/ausbd.552405> **Dergisi**
- Öztosun, C. (2024). Sualtı Kültür Mirasının Korunmasında Halkla İlişkilerin Önemi", *Amisos*, 9/16, 46-55 DOI: 10.48122/amisos.1501500.
- Sarı Gök, H. (2022). Kültürel Miras Turizmi Araştırmalarının Görsel Haritalama Tekniği ile Bibliyometrik Analizi\*. *Journal of Humanities and Tourism Research*, 12(1), 218-234. <https://izlik.org/JA29AX42LL>
- Ünlü, S., Yaşar, L., & Bilici, E. (2023). An Analysis of Cultural Heritage Preservation Efforts in Karabakh from the Perspective of Public Relations. *Erciyes İletişim Dergisi*, 10(1), 165-184. <https://doi.org/10.17680/erciyesiletisim.1167066>
- Yıldırım, M. (2025). Coğrafi Bakış Açısı ile Somut Olmayan Kültürel Miras, Duvar Yayınları, İzmir.

## BÂKÎ DİVANI'NDA GAZEL NAZIM ŞEKLİNİN ÖZELLİKLERİ

**Dr. Öğr. Üyesi Zafer TOPAK**

**Kurum:** Karabük Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü

**ORCID:** 0000-0001-6356-2762

### ÖZET

Bu çalışmada, 16. yüzyıl klasik Türk şiirinin önde gelen temsilcisi Bâkî'nin Divanı'nda "gazel" teriminin geçtiği beyitler tespit edilmiş ve bu kullanımlardan hareketle de şairin gazel nazım şeklinde aradığı özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Divan'da dağınık hâlde yer alan toplam 21 adet "gazel" teriminin 2'si matlalar kısmında, 2'si kasidelerde ve 17'si de gazeller bölümündedir. Gazeller bölümündeki 17 kullanımın 13'ü ise gazellerin mahlas beyitlerinde geçmektedir. Hemen hepsi poetik içerikli olan bu beyitlerde Bâkî, özelde kendi gazellerinin vasıflarına değinmekle birlikte genel olarak da gazelde aradığı özellikleri belirtmiş olur. Bu kullanımlara bakıldığında onun gazellerinin "renkli; taze ve yeni; göz alıcı ve parlak; yüce; gönül alıcı; zarif ve güzel" nitelikte olduğunu söylemek mümkündür. Bâkî'ye göre gazel ayrıca "sevgilinin güzellik unsurlarının vafında olmak; zevk sahiplerinin desteğiyle yücelmek; mücevher gibi olması nedeniyle az ve öz söylenmek; doğuştan gelen bir kabiliyetle yazılmak; sevgiliye hâli arz etme vesilesi olmak; şöhreti bütün cihana yayılmak; hediye gibi güzeller tarafından birbirlerine sunulmak, bazen de hasetçilere sıkıntı vermek için yazılmak" gibi özellikleri de taşımaktadır. Gazel nazım şekli için sıralanan bu özelliklerin bir kısmının gazelin şekil, bir kısmının muhteva özellikleriyle bir kısmının ise çevre/okuyucu ile bağlantılı olduğu görülecektir. Bâkî, ilgili poetik dizelerde, bütün bu vasıfları taşıyan çok başarılı gazeller yazdığını söyleyerek bu alanda yetkin bir şair olduğunu haklı olarak vurgulamıştır.

**Anahtar kelimeler:** Poetika, 16. yüzyıl klasik Türk şiiri, Bâkî Divanı, gazel türü.

### CHARACTERISTICS OF THE GHAZEL POETIC FORM IN BÂKÎ'S DIVAN ABSTRACT

This study identifies the verses in the Divan of Bâkî, a leading representative of 16th-century classical Turkish poetry, where the term "ghazal" appears, and attempts to determine the characteristics the poet sought in the ghazal form based on these uses. Of the 21 instances of the term "ghazal" scattered throughout the Divan, 2 are in the matla section, 2 in the qasidas, and 17 in the ghazal section. Thirteen of the 17 uses in the ghazal section appear in the couplets of the ghazals' pen names. Almost all of these couplets are poetically charged; in them, Bâkî specifically addresses the qualities of his own ghazals, but also generally indicates the characteristics he sought in a ghazal. Based on these uses, it is possible to say that his ghazals are "colorful; fresh and new; eye-catching and bright; sublime; captivating; elegant and

beautiful." According to Bâkî, the ghazal should also possess the following characteristics: "to describe the elements of beauty of the beloved; to be elevated by the support of those with refined tastes; to be concise and to the point due to its jewel-like nature; to be written with innate talent; to be a means of expressing one's feelings to the beloved; to have its fame spread throughout the world; to be presented to each other by beautiful women as a gift, and sometimes to cause distress to the envious." It will be seen that some of these characteristics listed for the ghazal poetic form are related to the form of the ghazal, some to its content, and some to its environment/reader. In the relevant poetic verses, Bâkî rightly emphasizes his competence as a poet in this field by stating that he wrote very successful ghazals that possessed all these qualities.

**Keywords:** Poetics, 16th-century classical Turkish poetry, Bâkî's Divan, ghazal form.

## MAPPING THE RESEARCH LANDSCAPE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ELT: EVIDENCE FROM GRADUATE THESES IN TÜRKIYE (2020–2026)

**Dr. Arş. Gör. Muhammed KÖK**

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Education, Department of Foreign Language Education, Atakum, Samsun

**ORCID ID:** 0000-0002-7529-8679

### ABSTRACT

Generative artificial intelligence (GenAI) has emerged as a significant research area in education, particularly within the domain of English Language Teaching (ELT). Notably, since 2020, there has been a significant academic interest and scholarship surrounding GenAI-driven practices, applications, and pedagogies. In this respect, the current descriptive study aims to uncover research trends in GenAI-focused graduate and postgraduate dissertations (M.A. and Ph.D.) conducted in Türkiye within the field of ELT between 2020 and 2026. To achieve this aim, a descriptive research design was employed, and the data were collected from the Turkish National Dissertations Database. The selected theses were systematically analyzed employing a rubric comprising predetermined categories, including year of completion, thesis type, publication status, target research area, research method, research design, and data collection tools. The findings of the descriptive analysis reveal that research on GenAI in ELT remains at an early stage of development and is still limited in scope. The results further indicate that GenAI has been investigated predominantly at the master's level, while doctoral-level research remains notably underrepresented. Additionally, a visible scholarly attention in research has been observed particularly since 2024. Overall, the study highlights a clear scarcity of GenAI-related research at the graduate level, especially at the doctoral level, within the ELT field. It also underscores existing research gaps and presents potential directions mapping for future research on GenAI in ELT.

**Keywords:** artificial intelligence, ELT, theses, master, Ph.D., graduate level, language education

## ON SOME CLASSES OF ARF NUMERICAL SEMIGROUP WITH MULTIPLICITY SIX

**Dr. Öğretim Üyesi Ahmet ÇELİK**

Adıyaman University, Technical Sciences Vocational School, Department of Technologies  
Computer, Adıyaman

**ORCID ID:** 0000-0001-5980-0625

**Prof. Dr. Sedat İLHAN**

Dicle University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Diyarbakır

**ORCID ID:** 0000-0002-6608-8848

### 1. Introduction

Numerical semigroups emerged as a natural object of study within number theory and algebra through the investigation of additive structures on the nonnegative integers. Their modern development is closely tied to commutative algebra and algebraic geometry, especially through the study of monomial curves, diophantine equations, and factorization theory. Numerical semigroups provide a useful framework for understanding non-unique factorizations and invariants such as the Frobenius number, genus, and embedding dimension. Applications appear in coding theory, optimization problems, and combinatorics, as well as in algebraic geometry where they help describe value semigroups of singular points on curves. More recently, they have also been used in computational algebra systems and discrete modeling contexts due to their algorithmic and structural properties ([1,2,3,4]).

Arf and numerical semigroups emerged from the intersection of algebra, number theory, and algebraic geometry, especially through the work of Turkish Mathematician Cahit Arf in the mid-20th century ([5]). Arf introduced what are now called arf rings and arf closures while studying singularities of algebraic curves and the behavior of multiplicity sequences, which led to important structural insights connected to numerical semigroups. Numerical semigroups themselves are additive subsemigroups of the nonnegative integers with finite complement, and they became a useful tool for encoding invariants of curve singularities and value semigroups of local rings. Over time, both arf semigroups and numerical semigroups found applications beyond pure theory, including coding theory, combinatorics, factorization problems, and algebraic geometry, where they help classify singular points and analyze resolution processes. Today, they remain active research topics due to their rich structure and wide range of mathematical applications.

Let  $\mathbb{N}$  and  $\mathbb{Z}$  be the sets of non negative integers and integers, respectively. If it is satisfied following conditions then the subset  $S$  of  $\mathbb{N}$  is a numerical semigroup :

- (1)  $0 \in S$  ,
- (2)  $\forall a, b \in S, a + b \in S$ ,

(3)  $Card(\mathbb{N} \setminus S)$  is finite ( $\Leftrightarrow \gcd(S) = 1$ ).

Here,  $\gcd(S)$  is greatest common divisor the elements of  $S$ .

Let  $S$  be a numerical semigroup, then we define following numbers:

$f(S) = \max(\mathbb{Z} \setminus S)$  is called Frobenius number of  $S$ ,

$C = C(S) = f(S) + 1$  is called conductor of  $S$ ,

$m(S) = \min\{s \in S : s > 0\}$  is called multiplicity of  $S$ , and

$n = n(S) = Card(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S)$  is called determine number of  $S$ . ([6])

If  $S$  is a numerical semigroup such that  $S = \langle a_1, a_2, \dots, a_p \rangle$ , then we write

$S = \langle a_1, a_2, \dots, a_p \rangle = \{s_0 = 0, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}, s_n = f(S) + 1, \rightarrow \dots\}$  where  $s_j < s_{j+1}$  and  $j = 1, 2, \dots, n(S)$ . Here, the arrow means: if  $y > f(S) + 1$  then  $y \in S$  ([7]).

If  $k \in \mathbb{N}$  but  $k \notin S$ , then  $k$  is called gap of  $S$ . We denote the set of all gaps of  $S$ , by  $H(S)$ , i.e,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S$ , and the  $G(S) = Card(H(S))$  is called genus of  $S$ . Also, it is known that  $G(S) + n(S) = C(S)$  (for details see [1,8,9]).

Let  $S$  be a numerical semigroup, then  $S$  is Arf if  $a + b - c \in S$ , for all  $a, b, c \in S$  such that  $a \geq b \geq c$  (\*). This is the original definition of an Arf numerical semigroup given by Arf in [5]. We will refer to the condition (\*) as the Arf condition. Fifteen conditions equivalent to the Arf condition are given in [2], where the definition of an Arf numerical semigroup is based on those equivalent conditions. Inspired by the paper [5] of Arf, Lipman introduced and studied Arf rings in his paper [10] where characterizations of those rings via their value semigroups yield Arf numerical semigroups. (for details see [11,12,13,14]).

In this study, we will give some results about determine number and genus in some classes of Arf numerical semigroups with multiplicity six and conductor  $C$ , such that  $C > 6$ ,  $C \neq 6u + 1$ , and  $C, u \in \mathbb{N}$ .

## 2.The determine number and genus of some classes of Arf numerical semigroups with multiplicity six

In this section, we will give formulas about determine number and genus of some classes of Arf numerical semigroups with multiplicity six.

**Theorem 2.1.** ([12]) Let  $S$  be a numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C$  such that  $C > 6$ ,  $C \neq 6u + 1$ , and  $C, u \in \mathbb{N}$ . Then, the Arf numerical semigroup  $S$  is one of followings:

(1) If  $C \equiv 0 \pmod{6}$  then

(i)  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  ;

(ii)  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  ;

(iii)  $S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  ;

(iv)  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  .

(2) If  $C \equiv 2 \pmod{6}$  then

(i)  $S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  ;

(ii)  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  ;

(iii)  $S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$ .

**Proposition 2.2.** Let  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

(a)  $n(S) = \frac{C}{6}$   
 (b)  $G(S) = \frac{5C}{6}$ .

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C, \dots\}$ . Thus, we obtain

(a)  $n = n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S)$   
 $= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 12, C - 6\})$   
 $= \left(\frac{C-6}{6} + 1\right) = \frac{C}{6}$ .

(b) We find that  $G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C}{6}\right) = \frac{5C}{6}$  ■

**Proposition 2.3.** Let  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then,

(a)  $n(S) = \frac{C+12}{6}$   
 (b)  $G(S) = \frac{5C-12}{6}$ .

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 4, C - 2, C, \dots\}$ . Thus, we find

(a)  $n = n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S)$   
 $= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S)$   
 $= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 4, C - 2\})$   
 $= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6\}) + \text{Card}(\{C - 4, C - 2\})$   
 $= \left(\frac{C-6}{6} + 1\right) + 2 = \frac{C+12}{6}$ .

(b) We obtain  $G(S) = f(S) + 1 - n(S)$   
 $= (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+12}{6}\right) = \frac{5C-12}{6}$  ■

**Proposition 2.4.** Let  $S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

(a)  $n(S) = \frac{C+6}{6}$   
 (b)  $G(S) = \frac{5C-6}{6}$ .

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 3, C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain

$$\begin{aligned} (a) \quad n &= n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 3\}) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6\}) + \text{Card}(\{C - 3\}) \\ &= \left(\frac{C-6}{6} + 1\right) + 1 = \frac{C+6}{6}. \end{aligned}$$

(b) We find that  $G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+6}{6}\right) = \frac{5C-6}{6}$  ■

**Proposition 2.5.** Let  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$\begin{aligned} (a) \quad n(S) &= \frac{C+6}{6} \\ (b) \quad G(S) &= \frac{5C-6}{6}. \end{aligned}$$

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 2, C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain

$$\begin{aligned} (a) \quad n &= n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6, C - 2\}) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 6\}) + \text{Card}(\{C - 2\}) \\ &= \left(\frac{C-6}{6} + 1\right) + 1 = \frac{C+6}{6}. \end{aligned}$$

(b) We find that  $G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+6}{6}\right) = \frac{5C-6}{6}$  ■

**Proposition 2.6.** Let  $S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$\begin{aligned} (a) \quad n(S) &= \frac{C+16}{6} \\ (b) \quad G(S) &= \frac{5C-16}{6}. \end{aligned}$$

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 6, C - 4, C - 2, C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain

$$\begin{aligned} (a) \quad n &= n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 6, C - 4, C - 2\}) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 2\}) + \text{Card}(\{C - 6, C - 4\}) \\ &= \left(\frac{C-2}{6} + 1\right) + 2 = \frac{C+16}{6}. \end{aligned}$$

(b) We find that  $G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+16}{6}\right) = \frac{5C-16}{6}$  ■

**Proposition 2.7.** Let  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$(a) \quad n(S) = \frac{C+10}{6}$$

$$(b) \quad G(S) = \frac{5C-10}{6} .$$

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 5, C - 2, C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain

$$\begin{aligned} (a) \quad n &= n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 5, C - 2\}) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 2\}) + \text{Card}(\{C - 5\}) \\ &= \left(\frac{C-2}{6} + 1\right) + 1 = \frac{C+10}{6} . \end{aligned}$$

$$(b) \quad \text{We find that } G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+10}{6}\right) = \frac{5C-10}{6} \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.8.** Let  $S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  be an Arf numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$(a) \quad n(S) = \frac{C+10}{6}$$

$$(b) \quad G(S) = \frac{5C-10}{6} .$$

**Proof.** Let  $S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 4, C - 2, C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain

$$\begin{aligned} (a) \quad n &= n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, C - 1\} \cap S) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 4, C - 2\}) \\ &= \text{Card}(\{0, 6, 12, 18, \dots, C - 8, C - 2\}) + \text{Card}(\{C - 4\}) \\ &= \left(\frac{C-2}{6} + 1\right) + 1 = \frac{C+10}{6} . \end{aligned}$$

$$(b) \quad \text{We find that } G(S) = f(S) + 1 - n(S) = (C - 1) + 1 - \left(\frac{C+10}{6}\right) = \frac{5C-10}{6} \quad \blacksquare$$

**Example 2.9.** Let's  $C = 12$  in Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$ . Then, we write  $S = \langle 6, 13, 14, 15, 16, 17 \rangle = \{0, 6, 12, \rightarrow \dots\}$ , we find that  $f(S) = 11$ ,  $m(S) = 6$ ,  $n(S) = \text{Card}(\{0, 1, 2, \dots, 11\} \cap S) = \text{Card}(\{0, 6\}) = 2$ ,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S = \{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11\}$  and  $G(S) = \text{Card}(H(S)) = 10$ .

In fact, we obtain that  $n(S) = \frac{C}{6} = \frac{12}{6} = 2$  and  $G(S) = \frac{5C}{6} = \frac{60}{6} = 10$  from Proposition 2.2.

**Example 2.10.** Let's  $C = 14$  in Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$ . Then, we obtain  $S = \langle 6, 9, 14, 16, 17, 19 \rangle = \{0, 6, 9, 12, 14, \rightarrow \dots\}$ , and we find that  $f(S) = 13$ ,  $n(S) = 4$ ,  $m(S) = 6$ ,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S = \{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13\}$  and  $G(S) = \text{Card}(H(S)) = 10$ .

In fact, we find  $n(S) = \frac{C+10}{6} = \frac{14+10}{6} = 4$  and  $G(S) = \frac{5C-10}{6} = \frac{70-10}{6} = 10$  from Proposition 2.7.

**REFERENCES**

- [1] Assi, A. , Danna, M. and Garcia Sanchez, P.A.,(2020). Numerical semigroups and Applications, Springer, Newyork.
- [2] Barucci, V., Dobbs, D. E. and Fontana, M.(1997). Maximality Properties in Numerical Semigroups and Applications to One-Dimensional Analytically Irreducible Local Domains. Mem. Amer. Math. Soc., 125,1-77.
- [3] Matsuoka, T., (1971). On the degree of singularity of one dimensional analytically irreducible noetherian local rings, J. Math. Kyoto Univ. 11(3), 485-494.
- [4] Rim, D.S. and Vitulli, M.A. (1977). Weierstrass points and monomial curves, J. of Algebra, 48 , 454-476.
- [5] Arf , C.(1949). Une interpretation algebrigue de la suite de multiplicite d'une branche algebrigue. Proc London Math Soc ., 20, 256-287 (in French).
- [6] Rosales, J.C. and Garcia Sanchez, P.A.(2009). Numerical semigroups, Developments in Mathematics, Springer, Newyork.
- [7] D'anna, M.(1998). Type sequencess of numerical semigroups, Semigroup Forum, 56,1-31.
- [8] Froberg, R., Gotlieb, C., & Haggkvist, R., (1987). On numerical semigroups. Semigroup Forum, 35, 63-68.
- [9] Rosales, J.C. (2005). Fundamental gaps of numerical semigroups generated by two elements, Linear Algebra and its Applications, 405, 200-208.
- [10] Lipman J. (1971). Stable ideals and Arf rings. Am J ath., 93, 649-685.
- [11] İlhan S. and Karakaş H.İ. (2017). Arf numerical semigroups, Turkish Journal of Mathematics, 41, 1448-1457.
- [12] Garcia-Snchez, P.A., Heredia, B.A., Karakaş, H.İ. and Rosales, J.C. (2017) . Parametrizing Arf numerical semigroups, Journal of Algebra and its Applications, 16 (11), 31 pp.
- [13] Rosales, J.C., Garcia-Sanchez, P.A., Garcia-Garcia, J.I. and Branco, M.B.(2004). Arf numerical semigroups, Journal of Algebra, 276, 3-12.
- [14] İlhan, S. And Çelik, A. (2017). L-Sequences Of Saturated Numerical Semigroups With Multiplicity  $\leq 7$ , J. Semigroup Theory Appl. 6, 1-6.

## TYPE SEQUENCES OF SOME CLASSES OF ARF NUMERICAL SEMIGROUPS WITH MULTIPLICITY SIX

**Dr. Öğretim Üyesi Ahmet ÇELİK**

Adıyaman University, Technical Sciences Vocational School, Department of Technologies  
Computer, Adıyaman

**ORCID ID:** 0000-0001-5980-0625

**Prof. Dr. Sedat İLHAN**

Dicle University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Diyarbakır

**ORCID ID:** 0000-0002-6608-8848

### 2. INTRODUCTION

Arf and numerical semigroups emerged from the intersection of algebra, number theory, and algebraic geometry, especially through the work of Turkish Mathematician Cahit Arf in the mid-20th century ([1]). Arf introduced what are now called arf rings and arf closures while studying singularities of algebraic curves and the behavior of multiplicity sequences, which led to important structural insights connected to numerical semigroups. Numerical semigroups themselves are additive subsemigroups of the nonnegative integers with finite complement, and they became a useful tool for encoding invariants of curve singularities and value semigroups of local rings. Over time, both arf semigroups and numerical semigroups found applications beyond pure theory, including coding theory, combinatorics, factorization problems, and algebraic geometry, where they help classify singular points and analyze resolution processes. Today, they remain active research topics due to their rich structure and wide range of mathematical applications.

Let  $\mathbb{N}$  and  $\mathbb{Z}$  be the sets of non negative integers and integers, respectively. If it is satisfied following conditions then the subset  $S$  of  $\mathbb{N}$  is a numerical semigroup :

- (1)  $0 \in S$  ,
- (2)  $\forall x, y \in S, x + y \in S$ ,
- (3)  $Card(\mathbb{N} \setminus S)$  is finite ( $\Leftrightarrow \gcd(S) = 1$ ).

Here,  $\gcd(S)$  is greatest common divisor the elements of  $S$  .

Let  $S$  be a numerical semigroup, then we define following numbers:

$f(S) = \max(\mathbb{Z} \setminus S)$  is called Frobenius number of  $S$ ,

$C = C(S) = f(S) + 1$  is called conductor of  $S$ ,

$\mu(S) = \min\{s \in S : s > 0\}$  is called multiplicity of  $S$ , and

$n = n(S) = Card(\{0, 1, 2, \dots, f(S)\} \cap S)$  is called determine number of  $S$ . ([2])

If  $S$  is a numerical semigroup such that  $S = \langle b_1, b_2, \dots, b_p \rangle$ , then we write

$S = \langle b_1, b_2, \dots, b_p \rangle = \{s_0 = 0, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}, s_n = f(S) + 1, \rightarrow \dots\}$  where  $s_j < s_{j+1}$  and  $j = 1, 2, \dots, n(S)$ . Here, the arrow means: if  $s > f(S) + 1$  then  $s \in S$  ([3]).

If  $x \in \mathbb{N}$  but  $x \notin S$ , then  $x$  is called gap of  $S$ . We denote the set of all gaps of  $S$ , by  $H(S)$ , i.e,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S$ , and the  $G(S) = \text{Card}(H(S))$  is called genus of  $S$ . Also, it is known that  $G(S) + n(S) = f(S) + 1$  ( for details see [2,4,5] ).

Let  $S = \langle b_1, b_2, \dots, b_p \rangle = \{s_0 = 0, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}, s_n = f(S) + 1, \rightarrow \dots\}$  be a numerical semigroup. Then we define the following sets, for  $u \geq 0$ :

$$S_u = \{s \in S : s \geq s_u\} \text{ and } S(u) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_u \subseteq S\} .$$

It is clear that  $S(u)$  is a numerical semigroup, and we obtain the following chain

$$S_n \subset S_{n-1} \subset \dots \subset S_1 \subset S_0 = S = S(0) \subset S(1) \subset \dots \subset S(n-1) \subset S(n) = \mathbb{N}.$$

In this case, the number  $t = t(S) = \text{Card}(S(1) \setminus S)$  is called type of  $S$ . Similarly, we put, for  $u \geq 0$ ,  $t_u = t_u(S) = \text{Card}(S(u) \setminus S(u-1))$ . Clearly,  $t_1(S) = t(S)$ , but, generally,  $t_u(S) \neq t(S(u))$ . In a numerical semigroup  $S$ , the sequence of positive integers  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  obtained in this way is called the type sequence of  $S$  ([3,9]).

Let  $S$  be a numerical semigroup, then  $S$  is Arf if  $z_1 + z_2 - z_3 \in S$ , for all  $z_1, z_2, z_3 \in S$  such that  $z_1 \geq z_2 \geq z_3$  (\*). This is the original definition of an Arf numerical semigroup given by Arf in [1]. We will refer to the condition (\*) as the Arf condition. Fifteen conditions equivalent to the Arf condition are given in [6], where the definition of an Arf numerical semigroup is based on those equivalent conditions (for details see [7,8,10]).

In this study, we will give formulas type sequences in some Arf numerical semigroups with multiplicity six and conductor  $C$ , such that  $C > 6$ ,  $C \neq 6k + 1$ , and  $C, k \in \mathbb{N}$ .

## 2. THE TYPE SEQUENCES OF SOME CLASSES OF ARF NUMERICAL SEMIGROUPS WITH MULTIPLICITY SIX

In this section, we will give formulas for type sequences of some sequences of Arf numerical semigroups with multiplicity six.

**Theorem 2.1.** ([10]) Let  $S$  be a numerical semigroup with multiplicity six and conductor  $C$  such that  $C > 6$ ,  $C \neq 6u + 1$ , and  $C, u \in \mathbb{N}$ . Then, the Arf numerical semigroup  $S$  is one of followings:

(3) If  $C \equiv 0 \pmod{6}$  then

- (v)  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  ;
- (vi)  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  ;
- (vii)  $S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  ;
- (viii)  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  .

(4) If  $C \equiv 2 \pmod{6}$  then

- (iv)  $S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  ;
- (v)  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  ;
- (vi)  $S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  .

**Proposition 2.2.** ([3]) Let  $S$  be a numerical semigroup and  $S \neq \mathbb{N}$ . Then,

$$1 \leq t_j(S) \leq t_1(S) ,$$

for each  $j = 1, 2, \dots, n(S)$ .

**Proposition 2.3 ([3])** Let  $S$  be a numerical semigroup. Then,

$$G(S) = \sum_{j=1}^{n(S)} t_j(S).$$

**Proposition 2.4 ([6])** Let  $S$  be a Arf numerical semigroup and  $n = n(S)$ . Then,

$$t_j = t_j(S) = s_j - s_{j-1} - 1,$$

for every  $j = 1, 2, \dots, n$ .

**Proposition 2.5.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5, \text{ for all } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C + 1, C + 2, C + 3, C + 4, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-3} = C - 18, s_{n-2} = C - 12, s_{n-1} = C - 6, s_n = C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain following, since  $S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5,$$

⋮

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 12) - (C - 18) - 1 = 5,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 6) - (C - 12) - 1 = 5 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 6) - 1 = 5 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.6.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5, \text{ for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 3, \text{ and } t_{n-2} = t_{n-1} = t_n = 1$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-4} = C - 12, s_{n-3} = C - 6, s_{n-2} = C - 4, s_{n-1} = C - 2, s_n = C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain following, since  $S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5,$$

⋮

$$t_{n-3} = s_{n-3} - s_{n-4} - 1 = (C - 6) - (C - 12) - 1 = 5,$$

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 4) - (C - 6) - 1 = 1,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 2) - (C - 4) - 1 = 1 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 2) - 1 = 1 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.7.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5, \text{ for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 2, \text{ and } t_{n-1} = t_n = 2$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C - 3, C + 1, C + 2, C + 4, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-3} = C - 12, s_{n-2} = C - 6, s_{n-1} = C - 3, s_n = C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain following, since  $S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5,$$

⋮

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 6) - (C - 12) - 1 = 5,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 3) - (C - 6) - 1 = 2 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 3) - 1 = 2 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.8.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5, \text{ for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 2, \text{ and } t_{n-1} = 3, t_n = 1$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 6$  such that  $C \equiv 0 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C - 2, C + 1, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-3} = C - 12, s_{n-2} = C - 6, s_{n-1} = C - 2, s_n = C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain following, since  $S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5,$$

⋮

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 6) - (C - 12) - 1 = 5,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 2) - (C - 6) - 1 = 3 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 2) - 1 = 1 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.9.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5, \text{ for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 4, \text{ and } t_{n-3} = t_{n-2} = t_{n-1} = t_n = 1.$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$S = \langle 6, C - 6, C - 4, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-5} = C - 14, s_{n-4} = C - 8, s_{n-3} = C - 6, s_{n-2} = C - 4, s_{n-1} = C - 2, s_n = C, \rightarrow \dots\}$ . Thus, we obtain following, since  $S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5 ,$$

⋮

$$t_{n-4} = s_{n-4} - s_{n-5} - 1 = (C - 8) - (C - 14) - 1 = 5 ,$$

$$t_{n-3} = s_{n-3} - s_{n-4} - 1 = (C - 6) - (C - 8) - 1 = 1 ,$$

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 4) - (C - 6) - 1 = 1 ,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 2) - (C - 4) - 1 = 1 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 2) - 1 = 1 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.10.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5 \text{ , for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 3 \text{ , and } t_{n-2} = t_{n-1} = 2 \text{ , } t_n = 1 .$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$$S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-4} = C - 14,$$

$$s_{n-3} = C - 8, s_{n-2} = C - 5, s_{n-1} = C - 2, s_n = C, \rightarrow \dots\} . \text{ Thus, we obtain following, since}$$

$S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5 ,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5 ,$$

⋮

$$t_{n-3} = s_{n-3} - s_{n-4} - 1 = (C - 8) - (C - 14) - 1 = 5 ,$$

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 5) - (C - 8) - 1 = 2 ,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 2) - (C - 5) - 1 = 2 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 2) - 1 = 1 \quad \blacksquare$$

**Proposition 2.11.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we have

$$t_i = 5 \text{ , for all } i = 1, 2, 3, \dots, n - 3 \text{ , and } t_{n-2} = 3, t_{n-1} = t_n = 1 .$$

**Proof.** Let  $\{t_1, t_2, \dots, t_{n-1}, t_n\}$  be type sequence of Arf numerical semigroup

$S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$  with multiplicity six and conductor  $C > 8$  such that  $C \equiv 2 \pmod{6}$  and  $C \in \mathbb{N}$ . Then, we write

$$S = \langle 6, C - 4, C, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle = \{s_0 = 0, s_1 = 6, s_2 = 12, \dots, s_{n-4} = C - 14,$$

$$s_{n-3} = C - 8, s_{n-2} = C - 4, s_{n-1} = C - 2, s_n = C, \rightarrow \dots\} . \text{ Thus, we obtain following, since}$$

$S$  is Arf numerical semigroup:

$$t_1 = s_1 - s_0 - 1 = 6 - 0 - 1 = 5 ,$$

$$t_2 = s_2 - s_1 - 1 = 12 - 6 - 1 = 5 ,$$

⋮

$$t_{n-3} = s_{n-3} - s_{n-4} - 1 = (C - 8) - (C - 14) - 1 = 5 ,$$

$$t_{n-2} = s_{n-2} - s_{n-3} - 1 = (C - 4) - (C - 8) - 1 = 3 ,$$

$$t_{n-1} = s_{n-1} - s_{n-2} - 1 = (C - 2) - (C - 4) - 1 = 1 \text{ and}$$

$$t_n = s_n - s_{n-1} - 1 = (C) - (C - 2) - 1 = 1 \quad \blacksquare$$

**Example 2.12.** Let's  $C = 18$  in Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 4, C - 2, C + 1, C + 3, C + 5 \rangle$ . Then, we write  $S = \langle 6, 14, 16, 19, 21, 23 \rangle = \{0, 6, 12, 14, 16, 18, \rightarrow \dots\}$ , we find that  $f(S) = 17, \mu(S) = 6, n(S) =$

$Card(\{0,1,2, \dots, 17\} \cap S) = Card(\{0,6,12,14,16\}) = 5$ ,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S = \{1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,13,15,17\}$  and  $G(S) = Card(H(S)) = 13$ . So, the type sequence of  $S$  is  $\{5,5,1,1,1\}$ . Because

$$t_1 = t_2 = 5 \text{ and } t_3 = t_4 = t_5 = 1 \text{ from Proposition 2.6.}$$

In fact,  $S = \langle 6,14,16,19,21,23 \rangle = \{0,6,12,14,16,18, \rightarrow \dots\}$  is Arf numerical semigroup, and we write

$$S_1 = \{s \in S : s \geq s_1 = 6\} = \{6,12,14,16,18, \rightarrow \dots\} \text{ and}$$

$$S(1) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_1 \subseteq S\} = \{0,6,8,10,12,13, \rightarrow \dots\}. \text{ Thus, we find that}$$

$$t_1 = t_1(S) = Card(S(1) \setminus S(0)) = Card(\{8,10,13,15,17\}) = 5.$$

$$S_2 = \{s \in S : s \geq s_2 = 12\} = \{12,14,16,18, \rightarrow \dots\} \text{ and}$$

$$S(2) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_2 \subseteq S\} = \{0,2,4,6, \rightarrow \dots\}. \text{ Thus, we have}$$

$$t_2 = t_2(S) = Card(S(2) \setminus S(1)) = Card(\{2,4,7,9,11\}) = 5.$$

$$S_3 = \{s \in S : s \geq s_3 = 14\} = \{14,16,18, \rightarrow \dots\} \text{ and}$$

$$S(3) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_3 \subseteq S\} = \{0,2,4,5, \rightarrow \dots\}. \text{ Thus, we have}$$

$$t_3 = t_3(S) = Card(S(3) \setminus S(2)) = Card(\{5\}) = 1 \text{ and}$$

$$S_4 = \{s \in S : s \geq s_4 = 16\} = \{16,18, \rightarrow \dots\} \text{ and}$$

$$S(4) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_4 \subseteq S\} = \{0,2,3, \rightarrow \dots\}. \text{ Thus, we obtain}$$

$$t_4 = t_4(S) = Card(S(4) \setminus S(3)) = Card(\{3\}) = 1 \text{ and}$$

$$S_5 = \{s \in S : s \geq s_5 = 18\} = \{18, \rightarrow \dots\} \text{ and}$$

$$S(5) = \{k \in \mathbb{N} : k + S_5 \subseteq S\} = \{0,1,2,3, \rightarrow \dots\}. \text{ Thus, we find}$$

$$t_5 = t_5(S) = Card(S(5) \setminus S(4)) = Card(\{1\}) = 1.$$

**Example 2.13.** Let's  $C = 14$  in Arf numerical semigroup  $S = \langle 6, C - 5, C, C + 2, C + 3, C + 5 \rangle$ . Then, we obtain  $S = \langle 6,9,14,16,17,19 \rangle = \{0,6,9,12,14, \rightarrow \dots\}$ , and we find that  $f(S) = 13$ ,  $n(S) = 4$ ,  $\mu(S) = 6$ ,  $H(S) = \mathbb{N} \setminus S = \{1,2,3,4,5,7,8,10,11,13\}$  and  $G(S) = Card(H(S)) = 10$ . Thus, the type sequence of  $S$  is  $\{5,2,2,1\}$ . Because

$$t_1 = 5, \quad t_2 = t_3 = 2 \text{ and } t_4 = 1 \text{ from Proposition 2.10.}$$

In fact, we obtain following since  $S = \{0,6,9,12,14, \rightarrow \dots\}$  is Arf numerical semigroup :

$$t_1 = s_1 - s - 1 = 6 - 0 - 1 = 5,$$

$$t_2 = s_2 - s - 1 = 9 - 6 - 1 = 2$$

$$t_3 = s_3 - s_2 - 1 = 12 - 9 - 1 = 2 \text{ and}$$

$$t_4 = s_4 - s_3 - 1 = 14 - 12 - 1 = 1.$$

## REFERENCES

- [1] Arf, C.(1949). Une interpretation algebrigue de la suite de multiplicite d'une branche algebrigue. Proc London Math Soc., 20, 256-287 (in French).
- [2] Assi, A., Danna, M. and Garcia Sanchez, P.A.,(2020). Numerical semigroups and Applications, Springer, Newyork.
- [3] D'anna,M.(1998).Type sequencess of numerical semigroups, Semigroup Forum,56,1-31.
- [4] Rosales,J.C. (2005). Fundamental gaps of numerical semigroups generated by two elements, Linear Algebra and its Applications, 405, 200-208.
- [5] Rosales,J.C. (2005). Fundamental gaps of numerical semigroups generated by two elements, Linear Algebra and its Applications, 405, 200-208.
- [6] Barucci,V., Dobbs,D. E. and Fontana,,M.(1997). Maximality Properties in Numerical Semigroups and Applications to One-Dimensional Analytically Irreducible Local Domains. Mem. Amer. Math. Soc., 125,1-77.

- [7] İlhan S. and Karakaş H.İ. (2017). Arf numerical semigroups, Turkish Journal of Mathematics, 41, 1448-1457.
- [8] Rosales, J.C., Garcia-Sanchez, P.A., Garcia-Garcia, J.I. and Branco, M.B.(2004). Arf numerical semigroups, Journal of Algebra, 276, 3-12.
- [9] Garcia Sanchez, P.A. and Ojeda, I.(2019) . Almost symmetric numerical semigroups with high type , Turk J Math . 43, 2499– 2510.
- [10] Garcia-Snchez, P.A., Heredia, B.A., Karakaş, H.İ. and Rosales, J.C. (2017) . Parametrizing Arf numerical semigroups, Journal of Algebra and its Applications, 16 (11), 31 pp.

## A REVIEW ON STRUCTURES AND MANUFACTURING OF 3D WOVEN ITEMS

**H. Ziya ÖZEK**

Namık Kemal University, Çorlu Faculty of Engineering, Dept. of Textile Engineering  
Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

**ORCID:** 0000-0003-3935-6170

### Abstract

Weaving technique has been utilized for producing textile materials since its discovery in ancient times. It was initially introduced as two dimensional operation for the manufacturing of two-dimensional (2D) fabrics. Three-dimensional (3D) weaving has emerged as a transformative textile manufacturing approach, enabling the production of integrated, through-thickness reinforced structures with superior mechanical performance compared to traditional two-dimensional laminates. This paper presents a comprehensive literature review of 3D woven textiles, focusing on structural classifications, manufacturing technologies, structure–property relationships, and application domains. The review also highlights emerging trends in digital modelling, lifecycle sustainability, and advanced applications. Key research gaps are identified to guide future investigations in textile engineering and composite materials science.

The evolution of textile structures from planar (2D) to volumetric (3D) architectures represents a paradigm shift in material design. Traditional laminated composites suffer from delamination and weak interlaminar properties, whereas 3D woven structures introduce through-thickness reinforcement, significantly improving damage tolerance and structural integrity. 3D weaving integrates multiple yarn systems in orthogonal or angular configurations, forming near-net-shape preforms suitable for composite reinforcement. Over the past three decades, the field has expanded from aerospace-focused applications to broader domains including automotive, ballistic protection, and technical textiles.

**Keywords :** 3D weaving, fabric structure, woven preform, technical textile, 3D cloth

## 3B DOKUMA ÜRÜNLERİN YAPILARI VE ÜRETİMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

### Özet

Dokuma tekniği, antik çağlarda keşfedilmesinden bu yana tekstil malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır. Başlangıçta iki boyutlu (2B) kumaşların üretimi için iki eksen üzerinde iki iplik grubuyla gerçekleştirilen bir işlem olarak uygulanmış ve binlerce yıldır bu formuyla kullanılmaya gelmiştir. Üç boyutlu (3B) dokuma, geleneksel iki boyutlu laminat yapılarla kıyasla üstün mekanik performansa sahip, entegre, kalınlık boyunca güçlendirilmiş yapıların üretimini sağlayan dönüştürücü bir tekstil üretim yaklaşımı olarak geçen yüzyılın sonuna doğru ortaya

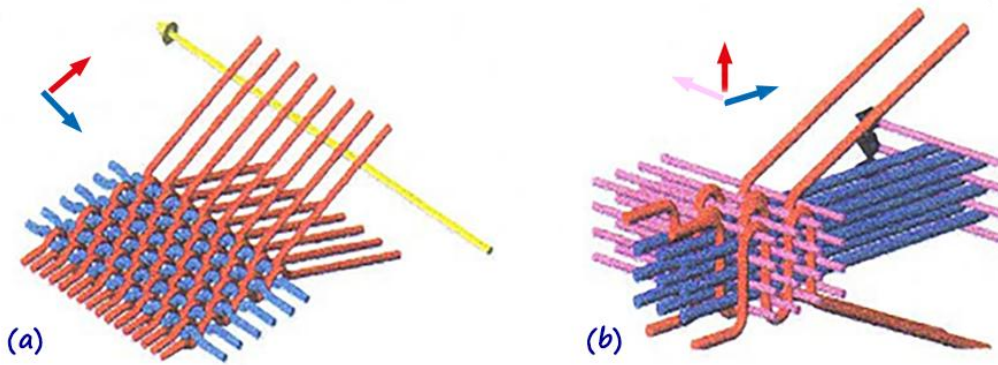
çıkılmıştır. Bu makale, yapısal sınıflandırmalar, üretim teknolojileri, yapı-özellik ilişkileri ve uygulama alanlarına odaklanarak 3B dokuma tekstil ürünlerinin kapsamlı bir literatür incelemesini sunmaktadır. İnceleme ayrıca dijital modelleme, yaşam döngüsü sürdürülebilirliği ve gelişmiş uygulamalardaki yeni trendleri de vurgulamaktadır. Tekstil mühendisliği ve kompozit malzeme biliminde gelecekteki araştırmalara rehberlik etmek için temel araştırma boşlukları da belirlenmiştir.

Tekstil yapılarının düzlemsel (2D) mimarilerden hacimsel (3D) mimarilere evrimi, malzeme tasarımında bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Geleneksel lamine kompozitler, tabaka ayrılması ve zayıf tabakalar arası özelliklerin neden olduğu yetersizlikler gösterirken, 3D dokuma yapılar kalınlık boyunca güçlendirme sağlayarak hasar toleransını ve yapısal bütünlüğü önemli ölçüde iyileştirmektedir. 3 boyutlu dokuma, kompozit takviyesi için uygun, neredeyse nihai şekle sahip ön şekillendirilmiş kalıplar oluşturmak üzere, birden fazla iplik sistemini ortogonal veya açılı konfigürasyonlarda entegre eder. Son otuz yılda, bu alan havacılık odaklı uygulamalardan otomotiv, balistik koruma ve teknik tekstiller de dahil olmak üzere daha geniş alanlara yayılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** 3 boyutlu dokuma, kumaş yapısı, dokuma ön kalıp, teknik tekstil, 3 boyutlu kumaş

## 1. INTRODUCTION

Weaving technique has been used in the production of textile materials since its discovery in ancient times. The technique was initially applied as a process performed with two groups of yarns on two axes for the production of two-dimensional (2D) fabrics. Gradually some extensions in the weaving technique were introduced by adding an extra set of yarn or an additional layer as well as the basic layer. Schematic illustrations of traditional 2D weaving and alternative 3D weaving principles are given in Fig.1. As seen, the 3D weaving operation is conducted beyond a plane, unlike 2D weaving. Three-dimensional (3D) weaves emerged towards the end of the last century as a transformative textile production approach that enables the production of integrated and thickness-reinforced structures with superior mechanical performance compared to traditional two-dimensional surfaces.



**Figure 1.** Comparison of 2D weaving (a) and 3D weaving (b) techniques

The increasing demand for high-performance composite materials in aerospace, automotive, and defence sectors has driven significant innovation in textile reinforcement technologies. Traditional 2D woven fabric composed of two sets of warp and weft yarn suffer from low interlaminar strength when used in reinforcement of composite materials (Mouritz et al., 1999). This structural limitation has motivated the development of 3D woven fabrics, where yarns are interlaced in three orthogonal directions, providing enhanced through-thickness reinforcement. 3D woven structures eliminate the need for stacking and bonding multiple plies, thereby reducing manufacturing complexity and improving structural integrity. Their ability to form near-net-shape preforms further reduces material waste and production cost. In the case of textile materials, there exist several techniques for the production of 3D fabrics. In addition to the weaving method, the techniques of knitting, braiding, stitching and nonwoven may also be safely used. In general, 3D weaving technologies enable (Perrera et al, 2021).

- Structural integrity without lamination
- Improved damage tolerance
- Ability to produce special construction composing of multi axial yarns
- Near-net-shape preforms
- Possibility of weaving spacer fabric as well sturdy tight structures

This article is aimed to present a review of 3D woven textile products, focusing on structural classifications, manufacturing technologies, structure-property relationships, and application areas. The review also highlights emerging trends in digital modelling, lifecycle sustainability, and advanced applications.

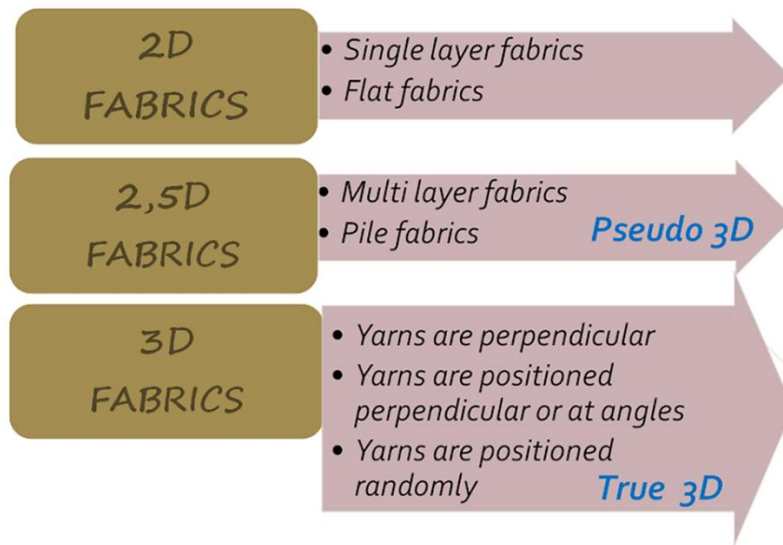
## 2. CLASSIFICATION OF 3D TEXTILE STRUCTURES

In general, textile structures with a negligible thickness in comparison with the length and width are known as two dimensional fabrics. They are produced by two sets of yarns, warp and weft which are intersecting and interlacing at right angles to each other. 2D woven fabrics are biaxial

structures while 3D textile structures are extended adding by extra set of yarns in the third axis, or even multi axis, to have a substantial thickness. They consist of a minimum of three yarn components in three orthogonal directions x, y and z, where the z-yarn reinforces the through-thickness direction of the fabric (Yang et al. 2004).

Three-dimensional fabric structures have been developed to overcome the shortcomings of traditional two-dimensional fabrics during their use for various purposes and to create new application opportunities. The first approach was to increase the stability of the third dimension of a 2D woven fabric produced on a regular weaving machine. This was achieved by the addition of a binding yarn to bind off the wefts in between warp yarns (Perrera et al. 2021). This was achieved by utilizing a set of needles passing in between warp yarns, threaded with the binding yarns form a different warp beam. This technique is known as the lappet weaving technique (Curiskis et al. 1997). However, this technique provided stability in two dimensions only and the torsional and bending rigidity of the fabric was not sufficient. Therefore, other approaches were also developed and introduced. Initially, only weaving and braiding (cross-weaving) techniques were used for producing 3D fabrics. Thanks to advancements in manufacturing technology, production by knitting and nonwoven techniques was also made possible. In regard of, complex-shaped composites, these fabrics were not suitable as they cannot be moulded into different shapes due to the high planar stability. To overcome this issue, 3D woven fabric structures for composites were developed.




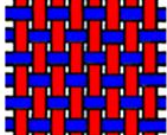
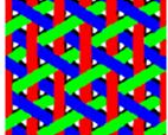
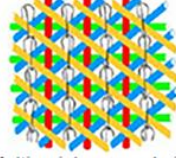


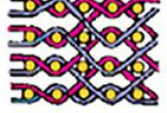
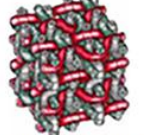

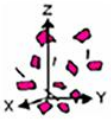




An evident distinction among possible fabric structures was introduced by Khokar (1996) as 2D, 2.5D and 3D fabrics, This classification into three segments is illustrated in Fig.2. According to this distinction, a 2D fabric has its constituent yarns disposed of in a single plane and as flat surface in most cases. A 2.5D fabric such as double layer or the terry pile fabric, has its constituent yarns disposed of in a two-mutually-perpendicular-planes relationship, while a 3D fabric has its constituent yarns disposed of in a three-mutually-perpendicular-planes relationship.



**Figure 2.** Classification of Woven Fabrics on the Base of Dimensional Aspect

A specific categorization of 3D woven preforms, based on the type of interlacement and yarn orientation was described by Bilisik (1991). In another study, 3D woven fabrics were classified based on the type of weaving and the fabric structure (Behera & Mishra, 2008). Based on the type of weaving process, three categories were defined as; 2D weaving → 3D fabrics, 3D weaving → 3D fabrics and noobing (no interlacing). Based on the fabric structure, they were classified into four categories; 3D solid, 3D hollow, 3D shell and 3D nodal. Khokar (1996) made a clear distinction between the methods of manufacturing of 3D fabrics categorizing in three groups; 3D fabrics; 2D weaving, 3D weaving and noobing. He claimed that noobing does not comply with the principles of 2D weaving, due to the absence of the shedding mechanism, which is one of the primary motions of 2D weaving.

An overall picture of axial and dimensional categorization of textile structures may be better analysed with the aim of the classification system by Fukuta & Akoi (1996). This classification given in Fig.3, shows the possible axial configuration in relation to the material and production technique. Yarn is considered as mono axial and 1D material while traditional woven fabric with two axis is introduced as 2D material.

Axis Dimension	0 Non-axial	1 Mono-axial	2 Biaxial	3 Triaxial	4 Multi-axial
1D		 Roving yarn			
2D	 Chopped strand mat	 Pre-impregnation sheet	 Plain weave	 Triaxial weave knit /12/	 Multi-axial weave, knit /13/
3D Linear element		 3-D braid /14/	 Multi-ply weave	 Triaxial 3D-weave /15/	 5-Direction construction
3D Plane element		 Laminate type	 H or I Beam /16/	 Honeycomb type	 Integral throat exit for nuclear missile /17/

**Figure 3.** Fukuta & Akoi Classification of textile materials on the basis of axis and dimensions

Chen and his colleagues (2011) also studied the configurations and geometries of the 3D woven fabrics and classified 3D woven fabrics into four different categories. These categories, as presented in Table 1, are given as solid, hollow, shell, and nodal, structures. Alternative architecture options are also available for manufacturing these structures.

**Table 1.** Form Based Classification 3D textile structures with reference to architecture

STRUCTURE	ARCHITECTURE	FORM
<b>Solid</b>	Multilayer	<i>Compound structure, with regular or tapered geometry</i>
	Orthogonal	
	Angle interlock	
<b>Hollow</b>	Multilayer	<i>Uneven surfaces, even surfaces, and tunnels on different levels in multi-directions</i>
<b>Shell</b>	Single layer	<i>Spherical shells and open box shells</i>
	Multilayer	
<b>Nodal</b>	Multilayer	<i>Tubular nodes and solid nodes</i>
	Orthogonal	
	Angle interlock	

It appears that 3D woven fabrics can be manufactured from conventional weaving machines and also from specially designed weaving machines/devices. Regardless of the types of machines used, it is fair to say that the conventional weaving technology is capable of constructing 3D fabrics with many different geometrical shapes. Additionally it has also ability to insert and place yarns both crimped and straight yarns in fabrics to suit a particular

application. 3D fabrics are used to take advantage of their superior strength, low weight, flexibility, and ease of processing. The immediate advantages of fabrics with a notable thickness dimension include the structural integrity of the woven structure, the satisfaction of geometric shape, and volume required for many end-use applications (Chen and Hearle, 2008).

### **3. 3D WOVEN FABRIC STRUCTURES**

#### **3.1 Definition of 3D Woven Fabrics**

These fabrics are defined as three-dimensional because they often have a relatively significant thickness based on a yarn-based network structure in various forms. A basic common definition of 3D fabric is “a type of fabric having a third dimension in the thickness layer (Gurkan, 2012). In 3D-fabric structures, the thickness or the distance along the Z-axis have a considerable magnitude relative to X and Y dimensions. Fibres or yarns are intertwined, interlaced or intermeshed in the X (longitudinal), Y (cross), and Z (vertical) directions (Badawi, 2007). 3D fabrics may also be described as “a single-fabric system, the constituent yarns of which are supposedly disposed in a three mutually perpendicular plane relationship” (Behera-Mishra, 2008).

It may be noticed that there are varied forms of 3D woven structures as well as the choice of architecture or production methodologies for each structure in consideration of the final application purpose. For instance, it is possible to produce a 3D fabric of considerable thickness by creating successive layers on top of each other. On the other hand, it is also possible to obtain 3D woven fabric by applying conventional horizontal or vertical shed opening and succeeding weft insertion process. Both process will generate a 3D fabric but there will be differences in fabrics structures.

#### **3.2 Review of Literature on 3D Woven Fabrics**

The empiric validation of the technical characteristics of 3D weaving process developed by the first-ever dual-directional shedding system took place in the 1990's. The discussion about the methodologies and also on the classification of 3D fabrics continued for a while. A comprehensive review of 3D-weaving processes on the basis of essential technical details and practical relevance was given in an early paper by Khokar (2001). The capability of conventional weaving machines with minimum modifications to be exploited for manufacturing cost-effective 3D flat woven preforms is discussed with reference to composite applications (Yi & Ding, 2004).

In another paper (Behera & Mishra, 2008), 3D woven preforms were compared with 2D weaving 3D fabrics and reported to be better than the most conformable 2D fabrics. The

flexural, tensile and compressive stiffness and strength are better in laminates made from 3D preforms than those made from comparable 2D woven or even knitted fabrics mainly due to the absence of in-plane crimp of yarns in the materials. An evaluation of various unique development in the area of weaving 3D fabrics were also presented. It was reported (Gokarneshan, 2009) that various methods, each one unique in its own way were evolved and adapted for specific end use applications. Thus, fabrics could be woven with different structures and profiles to fit specific requirements. Advances in modern woven fabrics technology with a particular attention to 3D weaving was reviewed by Bilisik (2011). A 3D weaving method for tubular fabric where warp yarns are input axially while weft yarns and binding yarn circumferentially was discussed in another paper (Sun et al, 2011). Several suggestions with a practical knowledge of 3D textile structures were discussed in a key paper (Chen et al, 2011) for both the textile and composite engineers working in the development textile composites for advanced applications. Opportunities and challenges for the 3D composites in consideration of performance improvements, design, reduced part and reduced labour cost was discussed in other paper (Sugun & Ramesh, 2015). The current status and projection to the future of this upcoming technology were also presented.

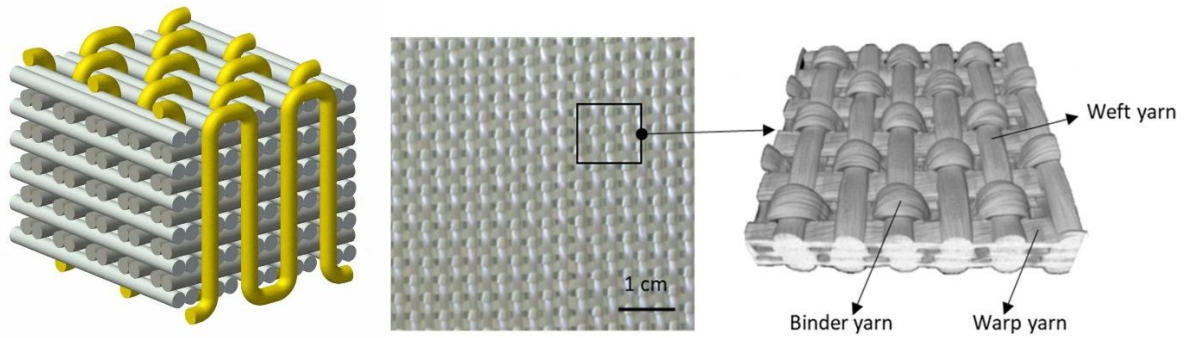
Two separate book chapters (Gurkan, 2012; Islam & Amir, 2019) were published presenting a discussion of 3D structures created using a loom, loom mechanisms, and specially built machines.

Recently, a comprehensive review of the existing literature on 3D fully interlaced preform weaving devices, such as primary and secondary mechanisms as well as modelling of 3D woven fabric structures produced by 3D fully interlaced preform weaving was also published as a book chapter (Perera et al, 2021).

#### **4. CATEGORIES OF 3D WOVEN STRUCTURES**

##### **4.1 Solid 3D Fabric Structures**

These are the mostly common group of 3D woven structures. It is supposed to have a very dense 3D structure composing fibre. It is characterized by a fully filled construction in which fibres are distributed throughout the volume with no intentional voids. Aerospace composite panels (carbon fibre preforms), Ballistic armour plates, Structural beams and load-bearing components and fibre brick may be given as example applications. Examples of 3D solid structures are shown in Fig.5.



**Figure 4.** 3D woven preforms having solid structure

**Key features:**

- High through-thickness reinforcement (Z-direction yarns)
- Excellent resistance to **delamination**
- High load-bearing capacity

**Typical manufacturing:**

- 3D orthogonal weaving
- Angle interlock weaving
- Multilayer interlacing

**4.2 Hollow 3D Fabric Structures**

Hollow 3D woven fabrics are advanced, multifunctional materials featuring integrated multiply structures with internal cavities or tunnels. They are produced in the form of honeycomb, tubular shapes or multi-layer with distance through tailored multi-layer weaving techniques. Despite their low weight because of hollow structure, they maintain sufficient stiffness offering exceptional strength-to-weight ratios. Their characteristics of high energy absorption, and thermal insulation, makes them ideal as lightweight, high-performance composites in aerospace, automotive, and construction industries. Examples of 3D hollow structures are shown in Fig.6. A recent paper by Dejene (2024) reviewed potentials of 3D woven and knitted spacer fabrics in technical textiles.

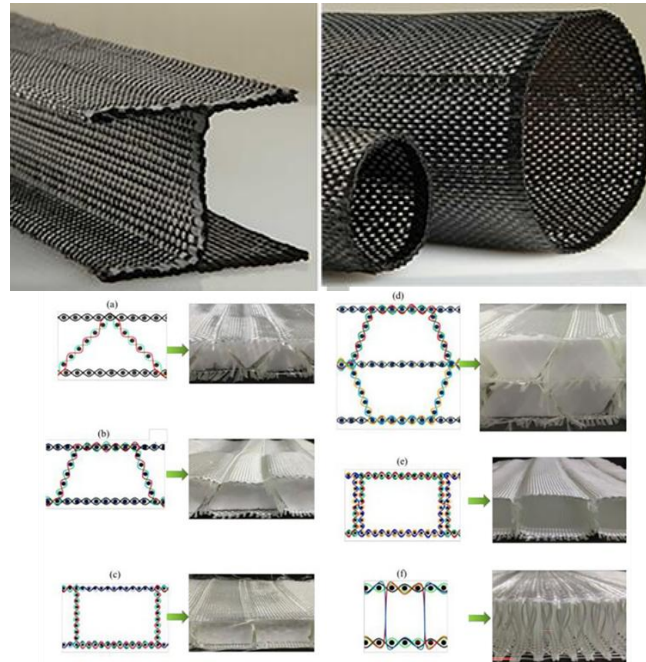
**Key features:**

- Lightweight with high stiffness-to-weight ratio
- Compatible structure for fluid transport (air, liquids, cables)
- Good bending resistance

**Typical manufacturing:**

- Tubular weaving
- Spacer fabric engineering

- Multilayer weaving with controlled separation



**Figure 5.** Example of Hollow 3D woven preforms and woven spacer fabrics

#### 4.3 Shell 3D Fabric Structures

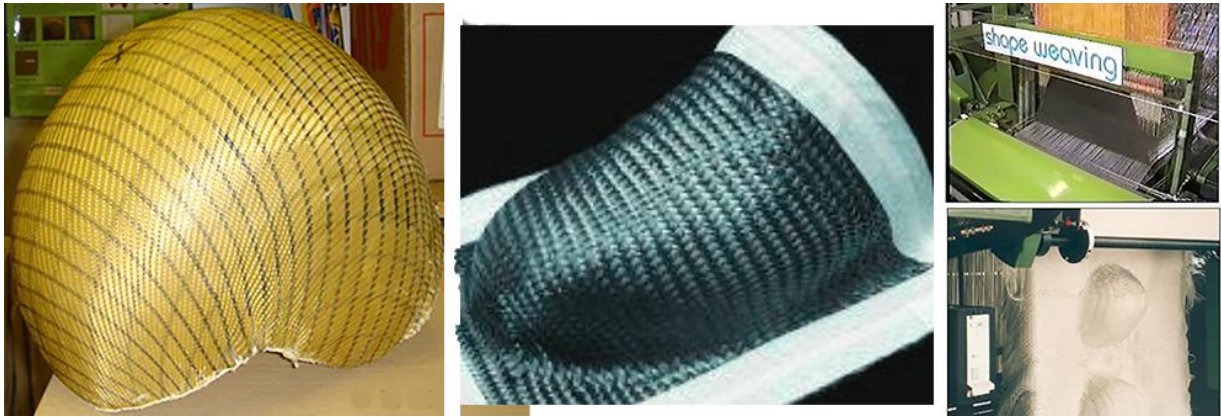
Shell 3D fabric structures are specialized 3D woven preforms designed with a thin-walled and often with hollow architecture. Primary application is lightweight but high-performance composite shells preform. They are part of a classification of 3D fabric applications, featuring interlocked fibers that offer enhanced delamination resistance and can be shaped into complex U, T, or L forms. Automotive body panels, helmets and protective shells and architectural textile structures for outdoor covering are typical application areas. Example of 3D shell structure are given in Fig.6.

##### Key features:

- Minimal material usage
- Suitable for applications where strength comes from geometry rather than thickness.
- Load distributed across curvature
- Often anisotropic (direction-dependent properties)

##### Typical manufacturing:

- Shaped weaving or forming after weaving
- Spacer fabrics with curvature
- Preform molding



**Figure 6.** Example of 3D Shell woven preforms

#### 4.4. Nodal 3D Fabric Structures

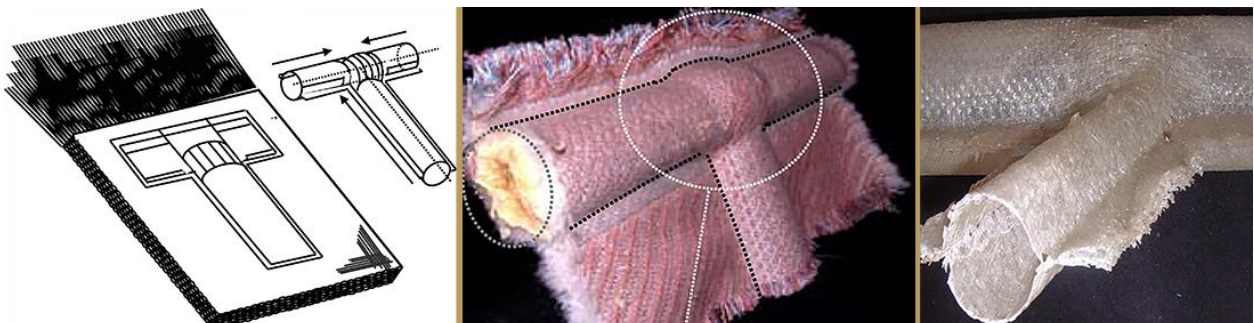
These are rather complicated structures composed of nodes. The nodal 3D woven structures are developed from the concept of the 2D planar truss frameworks and 3D weaving based on the principles of conventional weaving technology. Structures composed of interconnected nodes and struts, forming a network or lattice. Impact-absorbing structures like helmets or personal protective equipment, aerospace truss-like components and biomedical scaffolds are common application fields of this structure shown in Fig.7.

##### Key features:

- Energy absorption and flexibility
- Localized reinforcement at joints
- Tailored mechanical response

##### Typical manufacturing:

- 3D braiding (especially for joints)
- Lattice weaving or hybrid textile processes
- Additive + textile hybridization



**Figure 7.** Example of Nodal 3D woven structures (Taylor et al, 2017)

Comparison of the four basic structures of 3D woven fabrics are given in Table 2. It is important to note that these techniques are not really alternatives for each other, each one has unique characteristics which may be exploited and customized for specific applications.

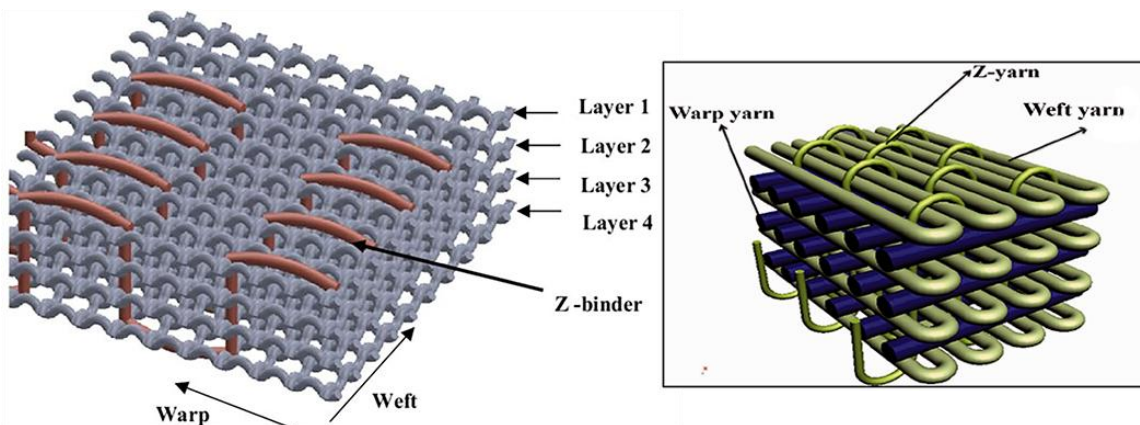
**Table 2.** Comparison of 4 types of 3D woven Fabric Structures

Structure	Density	Geometry	Key Advantage	Typical Use
Solid	High	Fully filled	Strength, no delamination	Structural composites
Hollow	Medium	Internal void	Lightweight stiffness	Tubes, ducts
Shell	Low	Thin curved	Efficiency via shape	Panels, casings
Nodal	Variable	Network/lattice	Energy absorption	Protective, lattice

## 5. CATEGORIES OF 3D WOVEN ARCHITECTURE

### 5.1 Orthogonal 3D Woven Construction

3D orthogonal woven construction consists of three distinct, non-interlaced yarn systems (warp, weft, and z-binder) oriented perpendicular to each other, as shown in Fig.8, creating a high-strength, non-crimp, and damage-tolerant preform for composites (Ince et al, 2014; Eldeeb, 2020; Seyam, 2022). It offers superior delamination resistance and high-speed production capability compared to 2D composites, commonly utilized in aerospace, defence, and automotive industries. A typical weaving loom equipped for orthogonal weaving technique is given in Fig.9, in comparison with conventional pile loom. Common features of these loom are the arrangement of



**Figure 8.** Orthogonal construction technique for 3D woven fabric

are the arrangement of multi sets of warp and existence of multiple shed and shed forming.

#### Key features:

- Excellent through-thickness strength
- Minimal yarn crimp → high stiffness
- Ideal for load-bearing composites

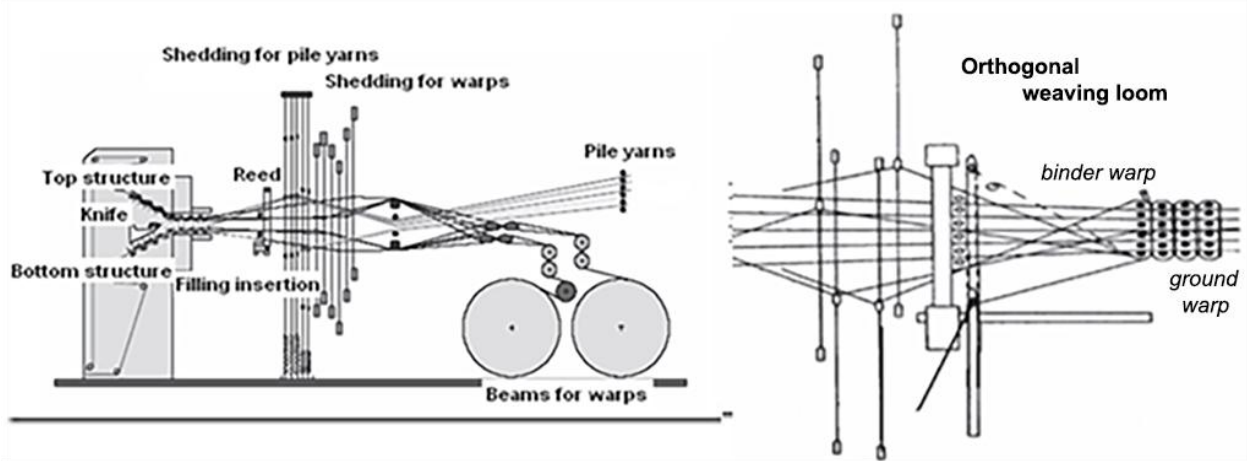
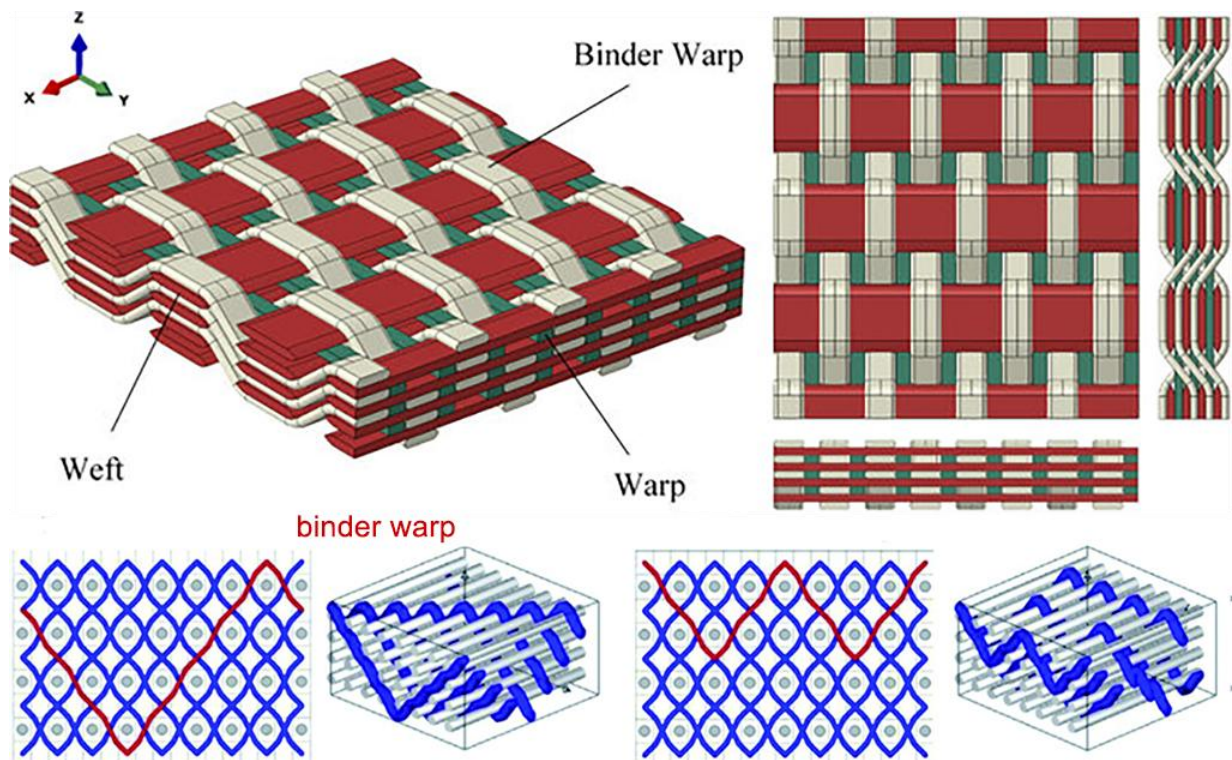


Figure 9. Comparison of face-to-face pile weaving and orthogonal 3D weaving loom

### 5.2 Angle Interlock 3D Woven Construction

Angle interlock fabrics are characterized by binder yarns moving diagonally through the thickness so as binding multiple layers (Pastore, 2012; Unal, 2012; Liu *et al*, 2024; Wei et al, 2025). Because of diagonal direction, they interlock the adjacent layers at certain angle. There are two variants of this construction, namely Through-thickness angle interlock and Layer-to-layer angle interlock.



3D fully interlock (through the thickness)      3D angle interlock woven construction

Figure 10. 3D Angle Interlock woven fabric constructions: angle interlock and fully interlock

#### Key features:

- High delamination resistance

- Moderate thickness reinforcement
- Good flexibility compared to orthogonal structures for fully interlock
- Controlled interlaminar bonding
- Better in-plane properties for layer-to-layer angle interlock
- Lower fibre distortion for layer-to-layer angle interlock

Schematic pictures of the two techniques of interlock architecture are shown in Fig.10. As seen, the binder warp yarns in the fully interlock traverse through the entire thickness of the fabric creating a highly integrated structure, whereas in the angle interlock variant they travel only between adjacent layers.

### 5.3 Multiaxis 3D Woven Construction

Multiaxis 3D weaving architecture allows insertion of in-plane fibres reinforcements, designated as bias yarns, oriented in directions other than  $0^\circ$  and  $90^\circ$  in the woven preform, unlike in the case of conventional weaving technology (Bilisik, 2011; Labanieh et al, 2016; Perera, 2021). This method and the relevant machine based on lappet weaving principles were introduced by Ruzand and Guenot (1994). The schematic view of a multiaxial construction model developed by Labanieh and his colleagues (2015) is shown in Fig. 11. The X-axis and Z-axis refers to the main loom axis and the vertical loom axis, respectively. The warp yarns can be seen parallel to the loom axis (termed  $0^\circ$  yarns) in the top view of the preform. They are arranged in four layers in through-the-thickness of the preform. The filler weft yarns are laid down across the preform width along with Y-axis (termed  $90^\circ$  yarns) as seen in the top view. Three duplicated filler yarns are simultaneously inserted. Two of them are inserted into the two outer preform faces (upper and

lower face) while the third one is inserted into the preform mid-plane as seen in the front and side view. The bias yarns are laid down in  $+\theta^\circ$  and  $-\theta^\circ$  direction relative to the loom axis and they are inserted in the form of a pair of opposite successive layers ( $\pm \theta^\circ$ ). The opposite bias layers are separated by a warp yarn layer. Two pairs of bias yarn layers are arranged in the preform thickness

and they are symmetric relative to the preform midplane. Thereby, the present preform is made of 11 in-plane layers in the following sequence according to the yarns orientation relative to the loom main axis: ( $90^\circ/0^\circ/+\theta^\circ/0^\circ/-\theta^\circ/90^\circ/-\theta^\circ/0^\circ/+\theta^\circ/0^\circ/90^\circ$ ).

#### Key features:

- Quasi-isotropic behaviour
- Enhanced shear performance

- Complex manufacturing

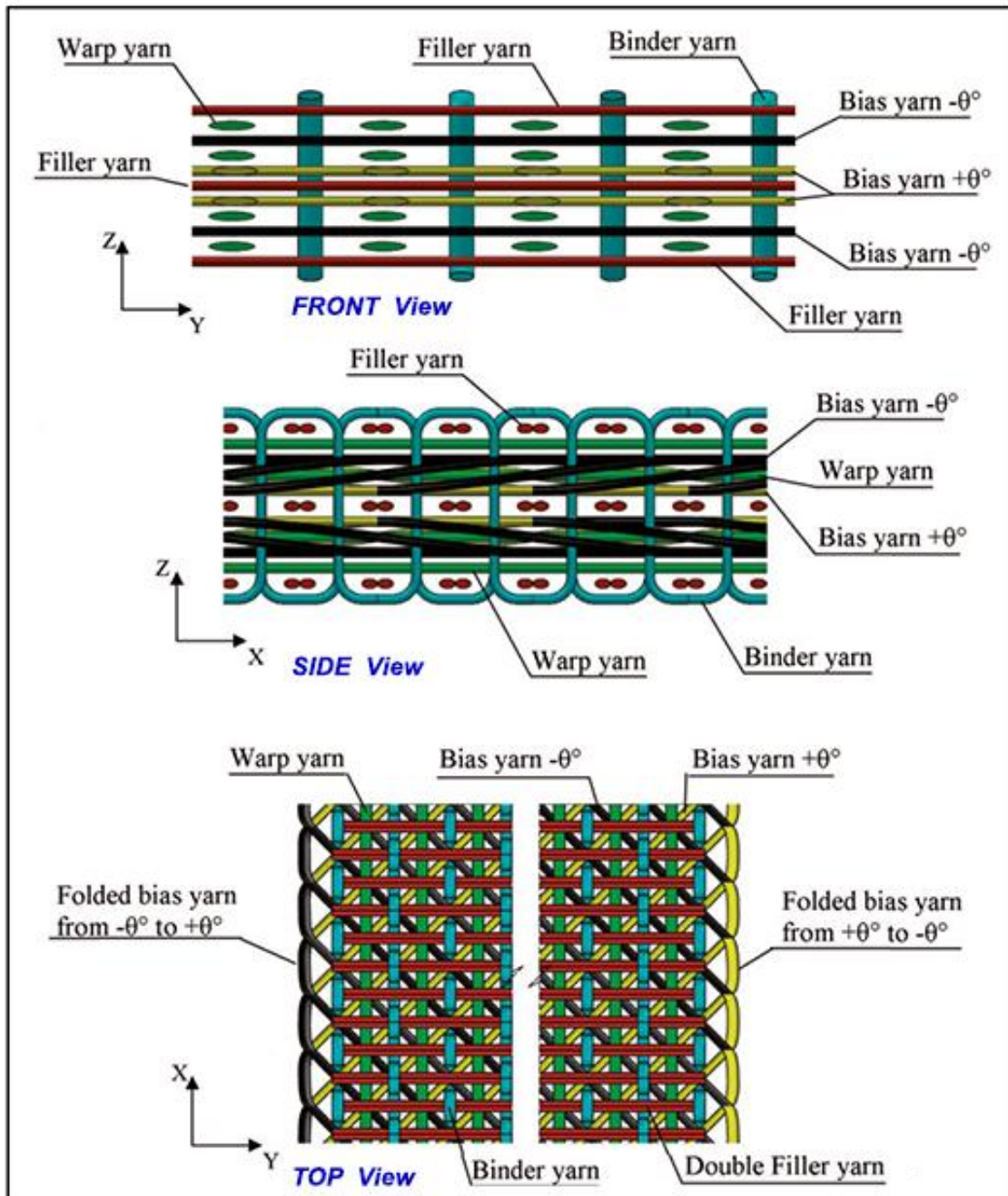


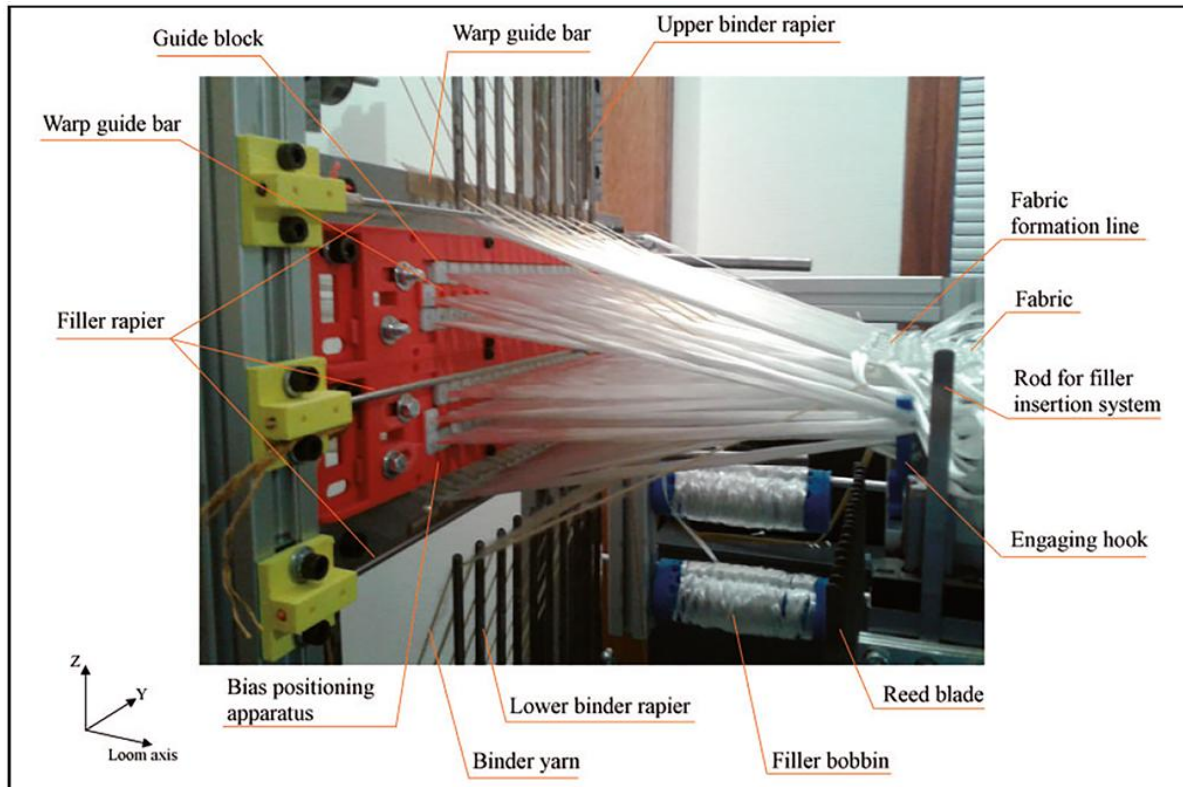
Figure 11. A Schematic view of a 3D Multiaxial Woven fabric construction model developed by Labanieh et al. (2025).

The photograph of the weaving zone of the specially designed loom (Labanieh et al, 2015) for the manufacturing of 3D multiaxial weaving preform is shown in Fig. 12.

#### 5.4 Layer-to-Layer 3D Woven Construction

Multiple layers of fabric are woven simultaneously and bound together by binder warp yarns travelling between adjacent layers for the production of fabrics. This method enables to create a single, integrated preform, offering superior delamination resistance and damage tolerance

compared to traditional 2D laminates. These kind of woven preforms are ideal for high-performance composite applications (Pastore, 2012; Sitnikova, 2024; Wei et al, 2025). 3D layer-to-layer woven composites are extensively used in applications where high-performance is critical.



**Figure 12.** Weaving zone of the multi-axis 3D weaving loom prototype (Labanieh et al, 2015).

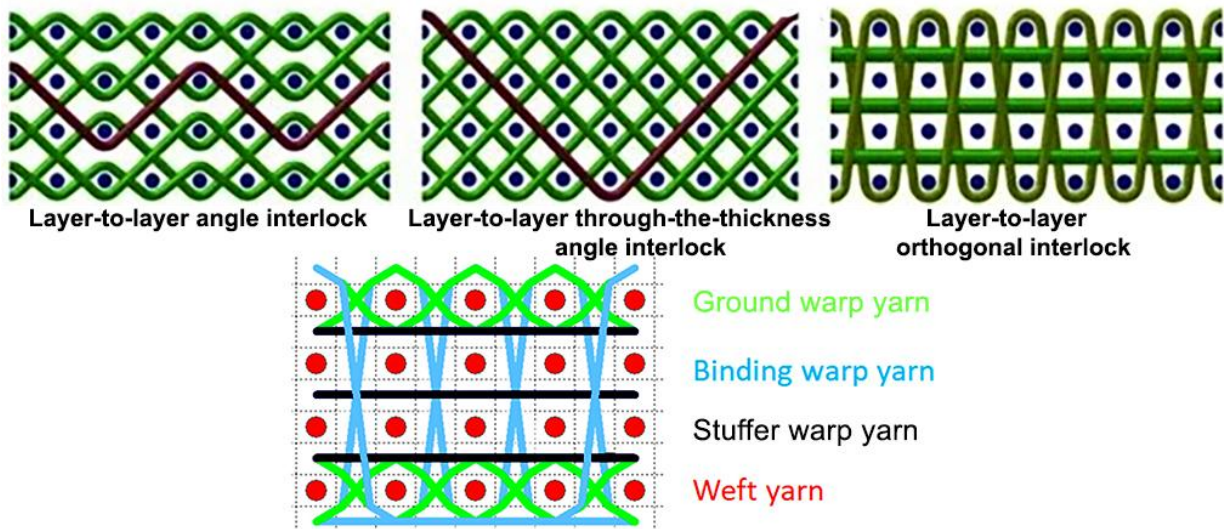
Typical usage fields are aircraft engines, fan blades, structural components, high-strength but lightweight armours, structural components requiring high impact resistance or high strength.

### Key features

- Reduced fiber distortion
- Enhanced in-plane properties
- Structure: Warp yarns (binders) interlace with weft yarns in one layer, then move to the next layer and interlace there, creating a "stair-step" look in the cross-section.
- Controlled interlaminar bonding : Due to the interlacing through the thickness, Layer-to-layer 3D weaves offer excellent resistance to cracking and delamination (splitting).
- Tailorable Properties: The weave geometry and the number of layers can be altered to adjust the mechanical properties of the final composite.
- Net-Shape Manufacturing: 3D weaving allows for the production of complex, near-net-shape components that require little or no cutting or shaping before moulding.

The Layer-to-layer 3D weaving can be categorized into two classes by the binding mechanism as seen in Fig.13. Depending on the application area, stuffer warps may also be integrated into the structure between adjacent layers.

**Layer-to-Layer Angle Interlock:** Warp yarns travel between adjacent layers, offering a balance between in-plane strength and out-of-plane strength. It is also possible for the binder warp to traverse across the full thickness.



**Figure 13.** Construction of layer-to-layer for the three different 3D weaving architecture

**Layer-to-Layer Orthogonal Interlock:** Warp yarns are inserted in a way that keeps both warp and weft yarns as straight as possible, increasing stiffness.

## 6. MECHANICAL BEHAVIOR OF 3D WOVEN COMPOSITES

The superior mechanical performance and design flexibility of 3D woven structures make them indispensable in high-performance applications. Tensile strength is strongly influenced by fiber orientation and crimp. Increasing binder yarn density tends to increase interlaminar strength, while any increase in the yarn crimp reduces the stiffness of the structure. Fiber and yarn orientation within the structure directly effects and control the anisotropy of the entire structure. Orthogonal structures exhibit superior tensile stiffness due to straight yarn alignment. In regard of Interlaminar Strength, Z-binder yarns significantly enhance resistance to delamination compared to laminated composites. It also positively affects the resistance to impact. In general, all 3D woven composites demonstrate improved energy absorption due to through-thickness reinforcement. With reference to fatigue behaviour, considerable reduction in crack propagation leads to enhanced fatigue life for these structures. On the other hand several simulation models have also been developed for modelling 3D woven fabrics facilitate

mechanical analysis, damage analysis, flow simulations, and prediction of failure modes under different loading conditions

## 7. CONCLUSION

The manufacturing of 3D structures are carried out by modified 2D conventional looms or specially designed 3D looms. Additionally, jacquard-based 3D weaving and automated and robotic preform weaving systems are also introduced as alternative technics. Complex design requirements, complications and fibre damage during weaving, high production cost, limited production speed and lack of standardized design tools test standards are the important challenges to be overcome in the near future. 3D woven structures offer a robust alternative to traditional textile reinforcements by integrating through-thickness reinforcement and enabling complex geometries. Despite current manufacturing challenges, advancements in automation, modelling, and materials science are expected to drive widespread industrial adoption. Current research has generally focused on improving the basic weaving mechanisms of 3D all-connecting preform weaving equipment. It should be pointed out that a further research is also needed to improve other auxiliary mechanisms as well. Trials for sustainable fibre like hemp and other materials are also in progress. In the future, 3D woven fabric structures will find increasingly more applications in construction, smart 3D structures with embedded sensors, ballistics, industrial, aerospace, and automotive fields. 3D clothing will also be produced. Accordingly, weaving machines and techniques are evolving from: being **“a method of making fabric”** to become **“a platform for engineering materials”**.

## REFERENCES

- Bilisik, K. (2011). “Multiaxis Three Dimensional (3D) Woven Fabric.” Chap. 5 in *Advances in Modern Woven Fabrics Technology*, edited by Savvas G. Vassiliadis. Intech Open. <https://doi.org/10.5772/678>.
- Chen, X., (2007). Technical aspect: 3D woven architectures. In: NWTexNet 2007 Conf., Blackburn, UK.
- Chen, X., Hearle, J.W.S., 2008. Developments in design, manufacture and use of 3D woven fabrics. In: TEXCOMP9 (International Conference on Textile Composites), University of Delaware, USA. 10. *Three-dimensional fabric structures. Part 1 An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites*. Available from: [accessed Apr 5 2026]. [https://www.researchgate.net/publication/303415956\\_10\\_Three-dimensional\\_fabric\\_structures\\_Part\\_1\\_-\\_An\\_overview\\_on\\_fabrication\\_of\\_three-dimensional\\_woven\\_textile\\_preforms\\_for\\_composites](https://www.researchgate.net/publication/303415956_10_Three-dimensional_fabric_structures_Part_1_-_An_overview_on_fabrication_of_three-dimensional_woven_textile_preforms_for_composites)
- Chen, X., Lindsay Waterton Taylor, and Li ju Tsai. 2011. “An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites.” *Textile Research Journal* 81 (9): 932–44. <https://doi.org/10.1177/0040517510392471>.
- Chen, X., Taylor, L.W. and Li ju T.. (2011). “An Overview on Fabrication of Three-Dimensional Woven Textile Preforms for Composites.” *Textile Research Journal* 81 (9): 932–44. <https://doi.org/10.1177/0040517510392471>.

- Curiskis, J. I., Durie, A., Nicolaidis, A., & Herszberg, I. (1997). Developments in multiaxial weaving for advanced composite materials. In *Proceedings of ICCM-11*, Australia (pp. 86–96).
- Dejene, B.K. et al, (2024). Exploring the potential of 3D woven and knitted spacer fabrics in technical textiles: A critical review. *Journal of Industrial textiles*, Volume 54: pp.1–55  
<https://doi.org/10.1177/15280837241253614>
- Eldeeb, H. (2020). Modeling tensile behavior of 3D orthogonal woven composites from high performance natural fibers. Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA.
- Fukuta, K., Aoki, E., 1986. 3D fabrics for structural composites. In: *Proceedings to the 15th Textile Research Symposium*, Philadelphia, PA, USA.
- Gokarneshan, N., and R. Alagirusamy. 2009. “Weaving of 3D Fabrics: A Critical Appreciation of the Developments.” *Textile Progress* 41 (1): 1–58. <https://doi.org/10.1080/00405160902804239>.
- Ince, M. E., Seyam, A. M., & Mohamed, M. H. (2014). Generalized Geometric modeling of 3D orthogonal woven preforms: The rectangular cross section case. In: *The Proceeding of the Future Technical Textiles Conference*, Istanbul, Turkey.
- Islam, M. Amirul Amir. 2019. “3D Woven Fabrics, Structures, and Methods of Manufacture.” Chap. 8 in *Woven Textiles: Principles, Technologies and Applications*, Second, edited by K. L. Gandhi. Woodhead Publishing of Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102497-3.00008-8>.
- Khokar, N. (1996). 3D fabric-forming processes: Distinguishing between 2D-weaving, 3D-weaving and an unspecified non-interlacing process. *Journal of the Textile Institute*, 87(1), 97–106. <https://doi.org/10.1080/00405009608659059>.
- Khokar (2001), N. 2001. “3D-Weaving: Theory and Practice.” *Journal of the Textile Institute* 92 (2): 193–207. <https://doi.org/10.1080/00405000108659570>.
- Labanieh, Ahmad Rashed, Xavier Legrand, Vladan Koncar, and Damien Soulat. 2016. “Development in the Multiaxis 3D Weaving Technology.” *Textile Research Journal* 86 (17): 1–16. <https://doi.org/10.1177/0040517515612365>.
- Liu, Y., Pan, Z., Yu, J. et al. (2024). Numerical simulation of 3D angle-interlock woven fabric forming and compression processes. *Int. Journal of Mater Form* 17, 24. <https://doi.org/10.1007/s12289-024-01824-0>
- Mouritz, A. P., Bannister, M. K., Falzon, P. J., & Leong, K. H. (1999). Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 30(12), 1445–1461. [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(99\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(99)00034-2).
- Pastore, C.M. (2012). Opportunities and challenges for textile reinforced composites. *Mechanics of Composite Materials*, 36(2) pp.97-116. DOI: [10.1007/BF02681827](https://doi.org/10.1007/BF02681827)
- Perera, Y. Sanura, Rajapaksha Mudiyansele Himal Widooshaka Muwanwella, Philip Roshan Fernando, Sandun Keerthichandra Fernando, and Thantirige Sanath Siroshana Jayawardana. 2021. “Evolution of 3D Weaving and 3D Woven Fabric Structures.” *Fashion and Textiles* 8 (11): 1–31. <https://doi.org/10.1186/s40691-020-00240-7>.
- Ruzand JM and Guenot G, (1994). Multiaxial three-dimensional fabric and process for its manufacture, International patent WO: 94/20658, 1994.
- Taylor, L. W., Chen, X., & Smith, M. A. (2017). Production principles for a T-shaped 3D woven nodal structure (T-3DWNS). *The Journal of The Textile Institute*, 108(1), 10–19. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1133126>
- Seyam, A.F.M. (2022). 3D Orthogonal Woven Fabric Formation, Structure, and Their Composites. In: Kyosev, Y., Boussu, F. (eds) *Advanced Weaving Technology*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91515-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91515-5_10)
- Sitnikova, E., Xu, M., Kong, W., Hu, S., Li, S. (2024). Design strategy for 3D layer-to-layer angle interlock woven composites. *Materials & Design*, Volume 247, 113414, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.113414>
- Sugun, B. S., and Ramesh Sundaram. 2015. “3D Composites: Opportunities & Challenges.” *Journal of the Indian Institute of Science* 95 (3): 221–31.
- Sun, Zhihong, Shenhua Zhou, Feifei Tang, et al. 2011. “The Study on 3D Weaving Method for Tubular Fabric.” *Advanced Materials Research* 331 (September): 536–40. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.331.536>.

Unal, P.G. (2012). 3D Woven Fabrics. Chapter.4 In Eds H-Y.Jeon, Woven Fabrics. InTech.  
<https://doi.org/10.5772/37492>

Yang, C., Kim, Y. K., Qidwai, U. A., & Wilson, A. R. (2004). Related strength properties of 3D fabrics. *Textile Research Journal*, 74(7), 634–639. <https://doi.org/10.1177/004051750407400714>.

Yi, H. L., and X. Ding. 2004. “Conventional Approach on Manufacturing 3D Woven Preforms Used for Composites.” *Journal of Industrial Textiles* 34 (1): 39–50.

<https://doi.org/10.1177/1528083704045847>.

Wei J, Zhang Y, Feng J, et al. (2025). Mechanical properties and failure mechanisms of 3D layer-to-layer interlock woven composites. *Polymer Compos.* 46(6):5580-5598. doi:10.1002/pc.29312

## DOKUMA KUMAŞLAR İÇİN KULLANILAN DESENLENDİRME TEKNİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

### **Bilge BERKHAH KASTACI**

Kahramanmaraş İstiklal University, Occupational Health and Safety Service  
K.Maraş, Türkiye.

**ORCID:** 0000-0001-6897-0554

### **H. Ziya ÖZEK**

Tekirdag Namık Kemal University, Dept. of Textile Engineering  
Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

**ORCID:** 0000-0003-3935-6170

### **Özet**

Dokuma kumaşları desenlendirme, çözgü ve atkı ipliklerinin karşılıklı bağlantıları, iplik düzenlemesi ve teknolojik kontrol sistemlerinin hem estetik görünümü hem de işlevsel performansı elde etmek için düzenlendiği çok boyutlu bir tasarım çerçevesini temsil eder. Dokuma kumaş desenleri, dokuyu, görünümü ve dayanıklılığı belirleyen tekrarlayan bir yapı tarafından belirlenen, tezgâh üzerinde dikey çözgü iplikleri ile yatay atkı ipliklerinin altlı üstlü yer değiştirilerek karşılıklı bağlantı yapmasıyla oluşturulur. Bezayağı, dimi ve saten gibi temel örgüler, daha karmaşık türevlerin ve figürlü tasarımların geliştirildiği yapısal temeli oluştururlar. Desen çeşitliliği, çizgili, kare ve renk etkileşim efektleri gibi iplik tabanlı stratejilerle ve yerel süsleme için ekstra çözgü ve atkı sistemlerinin entegrasyonu ile daha da genişletilir. Çok katmanlı ve havlı yapılar üç boyutlu doku yan ısıra işlevsel yetenekler sunarken, armür ve jakar teknolojileri desen karmaşıklığı ve ölçeği üzerinde hassas kontrol sağlar. Bilgisayar destekli tasarım, algoritmik modelleme ve yapay zekadaki son gelişmeler, geleneksel dokumayı programlanabilir bir tasarım alanına dönüştürerek hem görsel hem de performans özelliklerinin optimizasyonuna olanak tanımıştır.

Bu çalışma, dokuma kumaş tasarımında kullanılan desenlendirme tekniklerine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Bu teknikler sistematik olarak temel dokuma yapıları, türev yapılar, renk ve dokuma efektleri, ekstra iplik teknikleri, çok katmanlı konfigürasyonlar, gelişmiş dijital metodolojiler ve tezgâh dışı renklendirme süreçleri olarak sınıflandırılmıştır. İnceleme, çağdaş tekstil tasarımında estetik ve mühendislik unsurlarının yakınlaşmasını vurgulamakta ve akıllı tekstiller ve performans odaklı kumaş mimarileri de dahil olmak üzere fonksiyonel desen verme sürecinde ortaya çıkan fırsatları belirlemektedir. Bu bütünlük bakış açısı, dokuma desenlendirmeyi sadece dekoratif bir bezeme süreci olarak değil, modern tekstil mühendisliğinde malzeme inovasyonu için kritik bir araç olarak konumlandırmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dokuma, desenlendirme, örgü, kumaş konstrüksiyonu, renk, armür, jakar.

## CLASSIFICATION OF PATTERNING TECHNIQUES ADOPTED FOR WOVEN FABRICS

### Abstract

Woven fabric patterning represents a multidimensional design framework in which structural interlacement, yarn arrangement, and technological control systems are orchestrated to achieve both aesthetic expression and functional performance. Woven fabric patterns are created by the interlacing of vertical warp yarns and horizontal weft yarns on a loom, determined by a repeating structure that dictates texture and appearance as well as durability. Basic weaves, including plain, twill, and satin, form the structural foundation upon which more complex derivatives and figured designs are developed. Pattern diversity is further expanded through yarn-based strategies such as stripe, check, and colour-interaction effects, as well as through the integration of extra warp and weft systems for localized ornamentation. Multilayer and pile constructions introduce three-dimensional texture and functional capabilities, while dobby and jacquard technologies enable precise control over pattern complexity and scale. Recent advancements in computer-aided design, algorithmic modelling, and artificial intelligence have transformed traditional weaving into a programmable design domain, allowing for the optimization of both visual and performance characteristics.

This study provides a comprehensive overview of patterning techniques used in woven fabric design, systematically classifying them into fundamental weave constructions, derivative structures, colour-and-weave effects, supplementary yarn techniques, multilayer configurations, advanced digital methodologies and off the loom colouring processes. The review highlights the convergence of aesthetic and engineering considerations in contemporary textile design and identifies emerging opportunities in functional patterning, including smart textiles and performance-driven fabric architectures. This integrated perspective positions woven patterning not merely as a decorative process, but as a critical tool for material innovation in modern textile engineering.

**Keywords :** Weaving, patterning, weave, fabric construction, colour, dobby, jacquard.

### 1. GİRİŞ

Tekstil malzemeleri, liften nihai ürüne uzanan çok aşamalı mekanik ve yapısal dönüşüm süreçleri sonucunda farklı form ve fonksiyonlara sahip ürünlere dönüştürülmektedir. Bu süreçte lifler iplik formuna getirilmekte, iplikler ise örme, dokuma ve benzeri tekniklerle tekstil yüzeylerine dönüştürülmektedir. Dokuma kumaşlar, çözü ve atkı ipliklerinin belirli bir düzen içerisinde kesişmesiyle oluşan, basit yapısına rağmen oldukça geniş bir tasarım ve performans

çeşitliliği sunan tekstil yüzeyleri arasında önemli bir yer tutmaktadır (Grosicki, 2004; Kadolph, 2007).

Dokuma kumaşların en belirgin özelliklerinden biri, yüzeylerinde gözlenen desen ve doku çeşitliliğidir. Desen, dokuma kumaşta ipliklerin belirli bir sistematik düzen içerisinde yerleşmesiyle oluşan ve kumaşın hem estetik hem de fonksiyonel özelliklerini belirleyen temel tasarım unsurudur. Bu yönüyle desen, yalnızca görsel bir ifade değil; aynı zamanda kumaşın mekanik davranışı, üretim parametreleri ve kullanım performansı üzerinde doğrudan etkili olan mühendislik temelli bir yapıdır (Emery, 1966; Milašius ve ark., 2010).

Dokuma kumaş tasarımında desen oluşumu; iplik özellikleri, örgü yapısı, iplik düzeni ve tekrar (rapor) gibi temel parametrelerin birlikte değerlendirilmesi ile açıklanabilmektedir. Bu parametrelerin kontrollü kombinasyonu, teorik olarak çok geniş bir tasarım uzayının ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır. Nitekim dokuma tasarım süreci, bu bileşenlerin sistematik ve bilinçli entegrasyonu yoluyla hem estetik hem de performans kriterlerine göre optimize edilebilen bir mühendislik ve tasarım problemi olarak ele alınmaktadır (Adanur, 2001).

Dolayısıyla, dokuma kumaşlarda desenin yalnızca görsel bir unsur olmadığı, aynı zamanda yapısal parametrelerin kontrollü etkileşimi ile ortaya çıkan bir mühendislik organizasyonu olduğu vurgulanmaktadır. Özek (2014), dokuma tasarım sürecinin; iplik özellikleri, örgü yapısı ve üretim parametrelerinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren bütüncül bir yaklaşım olduğunu ifade etmekte ve desenin kumaş performansını doğrudan etkileyen yapısal bir tasarım unsuru olduğunu belirtmektedir.

Tekstil yüzeylerinin sınıflandırılması ve analizi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, kumaş yapılarının yalnızca kullanılan lif türü ile değil, aynı zamanda yapısal organizasyonları ile tanımlandığı görülmektedir. Emery (1966) tarafından ortaya konan temel sınıflandırma yaklaşımı, dokuma yapılarının anlaşılmasında önemli bir referans oluştururken, daha sonraki çalışmalar bu yapıları gelişen üretim teknolojileri ve tasarım yaklaşımları doğrultusunda genişletmiştir (Grosicki, 2004). Günümüzde dokuma kumaşlarda desenlendirme, yalnızca temel örgü yapıları ile sınırlı kalmayıp; renk düzenlemeleri, türev örgüler, ek iplik sistemleri, çok katmanlı yapılar ve bilgisayar destekli üretim teknolojilerinin entegrasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Özellikle dijital dokuma ve programlanabilir üretim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, dokuma tezgâhları klasik bir üretim aracının ötesine geçerek, karmaşık tasarım süreçlerinin uygulanabildiği esnek ve çok yönlü platformlara dönüşmüştür (Chen, 2011; Grosicki, 2004).

Bu çalışma, dokuma kumaşlarda kullanılan desenlendirme tekniklerini sistematik bir çerçevede ele almayı amaçlamakta; söz konusu teknikleri temel dokuma yapıları, türev yapılar, renk ve yüzey efektleri, ek iplik teknikleri, çok katmanlı konfigürasyonlar ve ileri üretim teknolojileri kapsamında sınıflandırarak kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır.

## **2. DOKUMA KUMAŞLARDA DESEN TASARIMININ TEMEL YAKLAŞIMI**

Dokuma kumaşlarda desen oluşumu, iplik özellikleri, örgü yapısı, iplik düzeni ve tekrar (rapor) gibi temel parametrelerin kontrollü etkileşimi ile gerçekleşmektedir. Bu parametrelerin her biri, kumaşın hem estetik görünümünü hem de mekanik ve fonksiyonel performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle desen tasarımı, yalnızca görsel bir düzenleme süreci değil; aynı zamanda mühendislik temelli bir optimizasyon problemi olarak değerlendirilmelidir (Adanur, 2001; Özek, 2014).

Bu bağlamda desen; iplik yapısı, örgü yapısı, iplik düzeni ve tekrar (rapor) gibi temel parametrelerin bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Bu parametrelerde gerçekleştirilen değişiklikler, kumaş yüzeyinde farklı görsel etkilerin yanı sıra mekanik ve fonksiyonel özelliklerin de değişmesine neden olmaktadır.

Geleneksel yaklaşımlarda desen tasarımı, kağıt üzerinde örgü planlama ve motif oluşturma teknikleri ile gerçekleştirilirken, günümüzde bu süreç büyük ölçüde bilgisayar destekli tasarım sistemleri ile yürütülmektedir. Ayrıca parametrik tasarım, algoritmik modelleme ve yapay zekâ destekli yaklaşımlar, desen oluşturma sürecine yeni bir boyut kazandırmaktadır. Bu gelişmeler, dokuma tasarımının daha esnek, hızlı ve yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Tasarım aşamasında oluşturulan desenlerin kumaş yüzeyine aktarılması ise farklı desenlendirme teknikleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu teknikler, üretim süreci farklı adımlarında uygulanabilir ve kumaşın nihai özelliklerini belirleyen temel faktörler arasında yer alırlar

## **3. DOKUMA KUMAŞ DESENLENDİRME TEKNİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Dokuma kumaşlarda desenlendirme, kumaş yüzeyinde estetik ve fonksiyonel özelliklerin oluşturulmasını sağlayan çok boyutlu bir tasarım sürecidir. Bu süreç, yalnızca örgü yapısı ile sınırlı olmayıp; iplik özellikleri, üretim parametreleri, boyama ve bitim işlemleri ile gelişmiş üretim teknolojilerinin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Desenlendirme teknikleri, uygulandıkları üretim aşamasına ve oluşturdukları etkiye göre farklı kategoriler altında incelenebilmektedir (Adanur, 2001; Grosicki, 2004). Bu çalışmada, dokuma kumaşlarda kullanılan desenlendirme teknikleri; dokuma süreci temelli yaklaşımlar, iplik girdisi ile gerçekleştirilen teknikler, boya-baskı ve bitim işlemleri ile sağlanan yöntemler, bitim sonrası

uygulamalar ve gelişmiş/yenilikçi yaklaşımlar olmak üzere beş ana başlık altında sistematik olarak sınıflandırılmıştır.

### **3.1. Dokuma sürecinde desenlendirme teknikleri**

Dokuma süreci sırasında gerçekleştirilen desenlendirme teknikleri, kumaşın temel yapısal organizasyonuna doğrudan müdahale edilerek elde edilen yöntemleri kapsamaktadır. Bu kapsamda desen; çözgü ve atkı ipliklerinin bağlanma biçimleri, yerleşim düzenleri ve üretim parametrelerinin kontrollü olarak değiştirilmesi ile oluşturulmaktadır (Başer, 1998; Lord & Mohamed, 1982).

Dokuma sürecinde desenlendirme, yalnızca örgü yapısının değiştirilmesi ile sınırlı değildir. İplik özellikleri, sıklık değerleri, gerilim kontrolü ve makine ayarları gibi çok sayıda parametrenin birlikte değerlendirilmesini gerektiren bütüncül bir süreçtir. Bu çok parametreliliği, dokuma kumaş tasarımının hem estetik hem de mühendislik temelli bir yaklaşım çerçevesinde ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Hearle et al., 2001).

Farklı örgü tiplerinin bir arada kullanılması, kumaş yüzeyinde belirgin görsel etkiler oluşturmanın en temel yollarından biridir. Bezayağı, dimi ve saten gibi temel örgülerin kombinasyonu ile yüzeyde farklı ışık yansımaları ve doku etkileri elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, çözgü ve atkı sıklıklarının bölgesel olarak değiştirilmesi, kumaş yüzeyinde yoğunluk farklılıklarına bağlı desen oluşumuna imkân tanımaktadır. Bu tür uygulamalar, yalnızca görsel çeşitlilik sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kumaşın fiziksel ve mekanik davranışını da doğrudan etkilemektedir (Pierce, 1937; Hu, 2004). Ayrıca renk ve örgü kombinasyonları, kumaş yüzeyinde optik etkiler ve desen derinliği oluşturarak görsel çeşitliliği artırmaktadır.



**Şekil 1.** Farklı örgü yapılarının birarada kullanıldığı gömleklik (a) ve pike kumaşı (b) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Tarak planlaması (reed drafting) ve çözgü ipliklerine uygulanan farklı gerilim değerleri de desenlendirme sürecinde önemli rol oynamaktadır. Özellikle diferansiyel gerilim uygulamaları, kumaş yüzeyinde kabartı ve dalgalı yapıların oluşmasını sağlayarak üç boyutlu etkilerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Başer, 1998). Ayrıca armür ve jakar gibi farklı dokuma teknolojilerinin kullanımı, daha karmaşık ve detaylı desenlerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Lord & Mohamed, 1982).

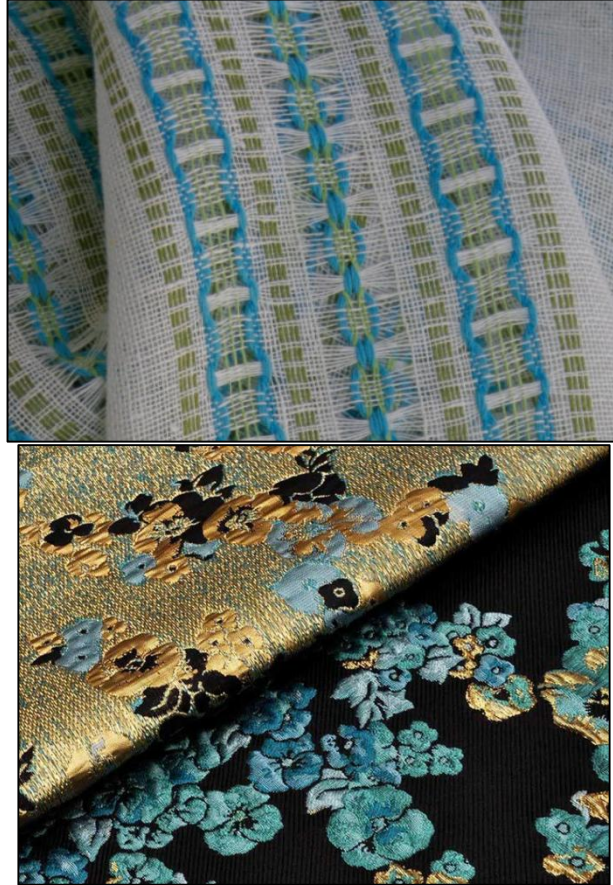


**Şekil 2.** Farklı sıklık (a) ve farklı çözgü gerilimi (b) uygulanmış kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Bununla birlikte, bu tekniklerin tekil kullanımının ötesinde, farklı yöntemlerin birlikte uygulanması ile çok daha karmaşık ve özgün yüzey efektleri elde edilebilmektedir. Bu durum, dokuma sürecinin çok parametreliliği bir tasarım ve optimizasyon alanı olarak değerlendirilmesini gerekli kılmakta ve desenlendirmeyi modern tekstil mühendisliğinde kritik bir araç haline getirmektedir.

### 3.2. İplik girdisi ile desenlendirme teknikleri

İplik özellikleri, dokuma kumaşlarda desen oluşumunu doğrudan etkileyen en temel parametrelerden biridir. İplik hammaddesi, numarası, büküm miktarı, üretim yöntemi ve yapısal özellikleri gibi değişkenler, kumaş yüzeyinde hem görsel hem de yapısal etkilerin oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır (Adanur, 2001; Başer, 1998).



**Şekil 3.** Farklı dokuma tekniklerinin birarada kullanılması a) leno kumaş, b) çift kat jakarlı kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

İplik özellikleri, dokuma kumaşlarda desen oluşumunu doğrudan etkileyen en temel parametrelerden biridir. İplik hammaddesi, numarası, büküm miktarı, üretim yöntemi ve yapısal özellikleri gibi değişkenler, kumaş yüzeyinde hem görsel hem de yapısal etkilerin oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır (Adanur, 2001; Başer, 1998).

Farklı lif türlerinden üretilmiş ipliklerin birlikte kullanılması, kumaş yüzeyinde renk, parlaklık ve doku farklılıklarının elde edilmesini sağlamaktadır. Doğal ve sentetik liflerin kombinasyonu

ile oluşturulan iplikler, yüzeyde kontrast etkiler ve heterojen yapılar meydana getirmektedir (Grosicki, 2004; Lord & Mohamed, 1982). Bu tür kombinasyonlar, özellikle tasarım odaklı dokumalarda estetik çeşitliliğin artırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.



**Şekil 4.** Farklı hammadde kullanılan kumaşlar a) keten ve lurex iplikli b) keten ve elastan iplikli (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

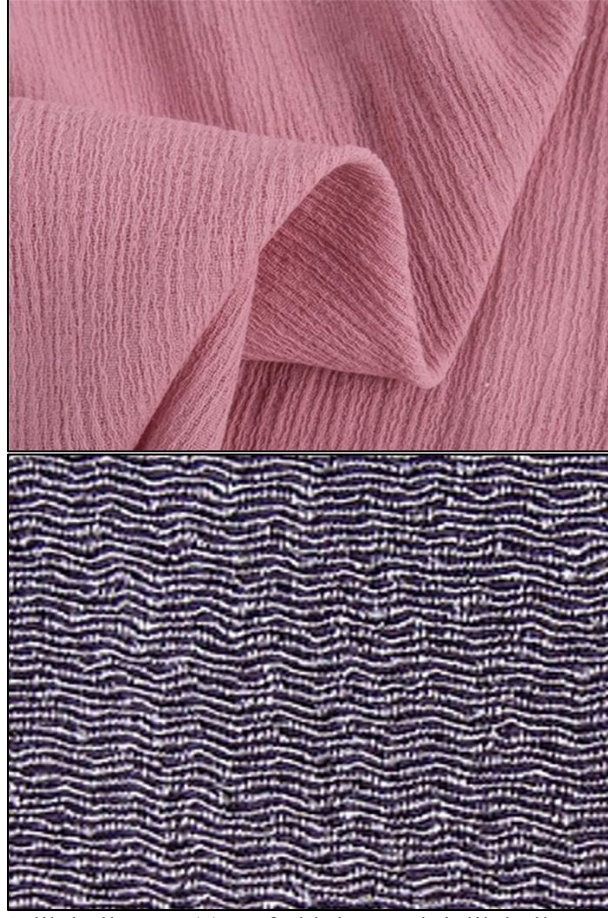
İplik numarası (kalınlığı), kumaş yüzeyinde hacimsel ve yapısal etkilerin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Farklı kalınlıklarda ipliklerin birlikte kullanılması, yüzeyde kabartı, derinlik ve üç boyutlu algı oluşturmakta; bu durum kumaşın hem görsel hem de dokunsal özelliklerini zenginleştirmektedir (Başer, 1998).

İplik büküm miktarı ve yönü ise ipliğin mekanik davranışını ve yüzey karakteristiğini doğrudan etkilemektedir. Düşük bükümlü iplikler daha hacimli ve yumuşak yüzeyler oluştururken, yüksek



**Şekil 5.** Farklı kalınlıkta iplik kullanılarak elde edilen kumaşlar a) pamuk iplikli b) şönil iplikli (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

bükümlü iplikler daha kompakt ve düzgün yüzey etkileri sağlamaktadır. Bu durum, kumaşın parlaklık, sertlik ve dayanım özelliklerini de etkileyerek desen oluşumuna katkı sağlamaktadır (Kadolph, 2007; Hearle et al., 2001).



**Şekil 6.** Krep bükümlü iplik kullanımı (a) ve farklı katsayılı iplik kullanımı (b) kumaşlar (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)



**Şekil 7.** İpliği boyalı (a) ve elyaf boyalı harman karışımı melanj kumaş (b) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Renkli ipliklerin kullanımı, özellikle çözgü ve atkı yönünde farklı kombinasyonların oluşturulması ile desen elde edilmesinde temel yöntemlerden biridir. Elyaf boyalı (stock dyed) ve iplik boyalı (yarn dyed) sistemler ile elde edilen renk varyasyonları; çizgili, kareli ve degrade gibi klasik desen efektlerinin oluşmasını sağlamaktadır (Adanur, 2001; Başer, 1998). Ayrıca melanj ve harman iplikler, yüzeyde daha doğal ve geçişli renk etkileri oluşturarak estetik çeşitliliği artırmaktadır.

İplik girdisine bağlı desenlendirme yaklaşımları yalnızca estetik açıdan değil, aynı zamanda kumaşın performans özellikleri açısından da önemli sonuçlar doğurmaktadır. Farklı iplik türleri ve yapılarının kombinasyonu, kumaşın dayanım, esneklik, hava geçirgenliği ve yüzey tutumu gibi özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle iplik girdisi ile desenlendirme, dokuma kumaş tasarımında çok parametrelili ve bütüncül bir mühendislik yaklaşımı olarak ele alınmalıdır.

### **3.3. Boya, baskı ve bitim işlemleri ile desenlendirme teknikleri**

Dokuma kumaşlarda desenlendirme yalnızca yapısal yöntemlerle sınırlı olmayıp, aynı zamanda boya, baskı ve bitim işlemleri aracılığıyla da gerçekleştirilebilmektedir. Bu teknikler, kumaş

üretimi sonrasında uygulanarak yüzey üzerinde farklı görsel ve fonksiyonel efektlerin elde edilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle söz konusu işlemler, yapısal desenlendirmeye alternatif veya tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir (Shore, 1995; Kadolph, 2007).

Boyama işlemleri ile kumaş yüzeyinde homojen renklendirme sağlanabildiği gibi, efekt boyama teknikleri ile ton farklılıkları, gölgeleme ve yüzey varyasyonları oluşturulabilmektedir. Özellikle rezerv (batik) ve aşındırma (discharge) teknikleri, belirli bölgelerde boyanın tutulması veya uzaklaştırılması prensibine dayanarak desen oluşumuna imkân tanımaktadır. Bu teknikler, tekstil yüzeyinde kontrollü renk farklılıkları yaratarak estetik çeşitliliği artırmaktadır (Broadbent, 2001; Shore, 1995).



Şekil 8. Rezerv boyalı batik kumaş (a) ve aşındırma kumaş (b) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Baskı teknikleri ise dokuma kumaşlarda desenlendirme açısından en yaygın kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Dijital baskı, rotasyon baskı ve transfer baskı gibi modern yöntemler, yüksek çözünürlüklü ve karmaşık desenlerin hassas bir şekilde uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle dijital baskı teknolojileri, düşük maliyetli numune üretimi, hızlı tasarım değişimi ve sürdürülebilir üretim avantajları ile öne çıkmaktadır (Ujiie, 2006; Kadolph, 2007).



**Şekil 9.** Baskı uygulanmış (a) ve homojen boyanmış (b) kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Bununla birlikte, mekanik ve kimyasal bitim işlemleri de kumaş yüzeyinde önemli görsel ve dokunsal etkiler oluşturmaktadır. Parlaklık, matlık, yumuşaklık, kabartı ve yüzey dokusu gibi özellikler, uygulanan bitim işlemlerine bağlı olarak değişmekte ve desen algısını doğrudan etkilemektedir. Örneğin, kalandırlama ve şardonlama gibi mekanik bitim işlemleri, kumaş yüzeyinde parlaklık, yumuşaklık, hacim ve doku farklılıkları oluşturarak desen algısını güçlendirmektedir (Collier & Epps, 1999; Kadolph, 2007).



**Şekil 10.** Kalandır ile parlak yüzeyli kumaş (a) ve liza ile hacimlendirilmiş kumaş (b) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Sonuç olarak, boya, baskı ve bitim işlemleri ile gerçekleştirilen desenlendirme teknikleri, dokuma kumaşların yalnızca görsel özelliklerini değil, aynı zamanda performans ve kullanım özelliklerini de etkileyen çok boyutlu bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Bu tekniklerin tekil ya da birlikte kullanımı, tekstil tasarımında yüksek düzeyde çeşitlilik ve özgünlük elde edilmesini sağlar.

### 3.4. Bitim sonrası desenlendirme teknikleri

Bitim sonrası uygulanan desenlendirme teknikleri, kumaş yüzeyine üretim sonrasında müdahale edilerek gerçekleştirilen ve doğrudan yüzey modifikasyonuna dayanan yöntemleri kapsamaktadır.

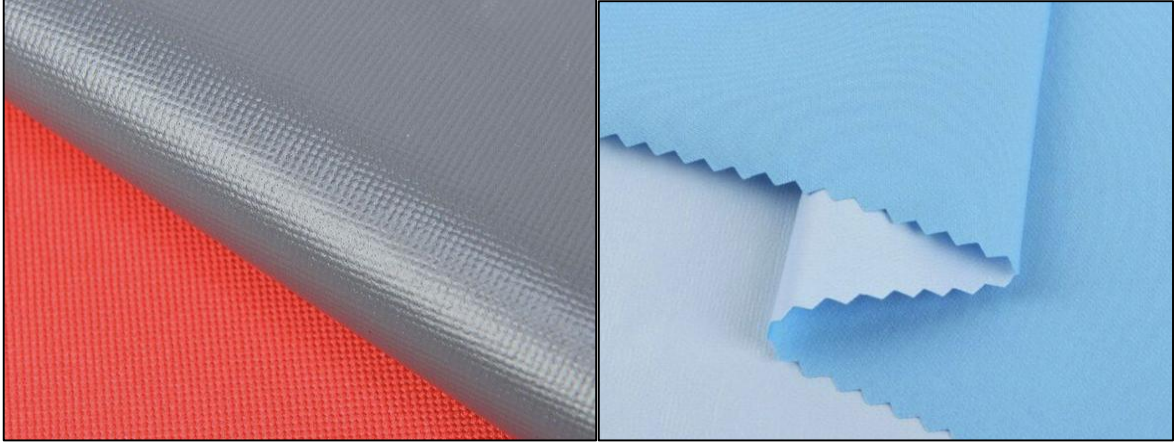


Şekil 11. Nakış uygulanmış kumaş (a) ve applike uygulanmış kumaş (b) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Bu teknikler, yapısal ve boyama temelli desenlendirme yaklaşımlarından farklı olarak, kumaşın yüzeyine ekleme, çıkarma veya şekillendirme yoluyla estetik ve fonksiyonel etkiler oluşturmayı amaçlamaktadır (Kadolph, 2007; Udale, 2014).

Bu kapsamda, nakış, applike ve pul/payet gibi süsleme teknikleri, kumaş yüzeyine ilave elemanlar entegre edilerek desen oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu tür uygulamalar, özellikle moda ve dekoratif tekstillerde yüzey zenginliği ve görsel derinlik oluşturmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Glock & Kunz, 2005).

Laminasyon ve kaplama işlemleri ise kumaş yüzeyine farklı katmanların eklenmesi ile yeni yüzey efektlerinin elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu teknikler, yalnızca görsel çeşitlilik sağlamakla kalmayıp aynı zamanda kumaşın fonksiyonel özelliklerini de değiştirebilmektedir (Choudhury, 2014).



**Şekil 12.** Laminasyon (a) ve kaplama (b) uygulanmış kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Lazer kesim/yakma teknikleri, temassız işlem avantajı sayesinde yüksek hassasiyetle yüzey modifikasyonu sağlayarak karmaşık ve detaylı desenlerin kontrollü biçimde uygulanmasına imkân tanımaktadır. Lazer teknolojileri, temassız işlem avantajı sayesinde karmaşık ve detaylı desenlerin kontrollü bir şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır (Ujiie, 2006; Choudhury, 2014).



**Şekil 13.** Lazer kesmeli (a) ve lazer yakmalı (b) kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Kabartma (embossing) ve gofre uygulamaları, kumaş yüzeyinde üç boyutlu yapılar oluşturarak desenin yalnızca görsel değil, aynı zamanda dokunsal olarak da algılanmasını sağlamaktadır. Bu tür yüzey modifikasyonları, ışık-gölge etkileri ile desen algısını doğrudan etkilemektedir (Collier & Epps, 1999). Son yıllarda geliştirilen 3D yüzey uygulamaları ise tekstil yüzeylerinde hacimsel desenlendirme yaklaşımlarının yaygınlaşmasına olanak tanımış olup, özellikle teknik tekstiller ve fonksiyonel ürünlerde estetik ile performansı bir arada sunan yenilikçi çözümler olarak öne çıkmaktadır (Udale, 2014).



**Şekil 14.** Kabartma (a), gofre (b) ve 3D uygulamaları yapılmış kumaşlar (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

### 3.5. Gelişmiş ve yenilikçi desenlendirme yaklaşımları

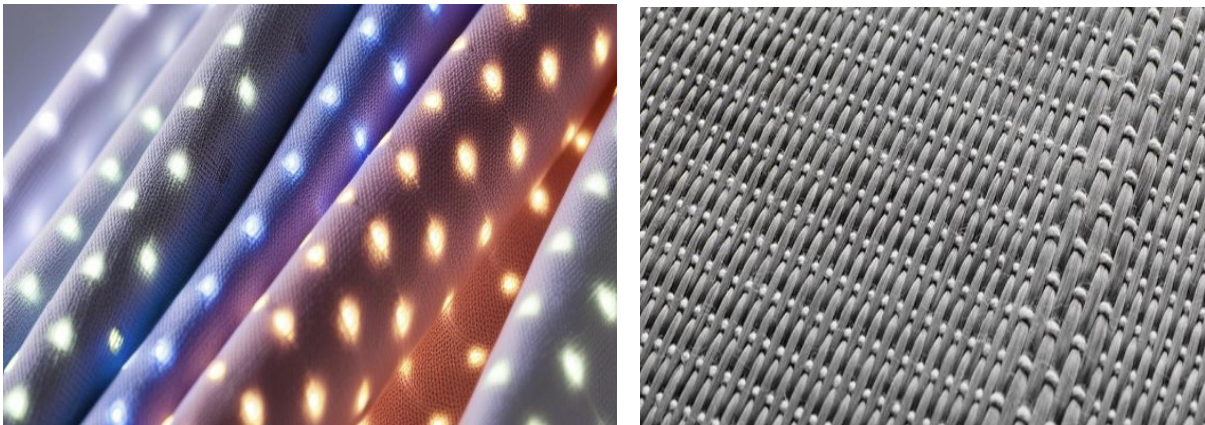
Tekstil teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, dokuma kumaşlarda desenlendirme yaklaşımlarının yalnızca estetik amaçlı uygulamalar olmaktan çıkarak, yapısal ve fonksiyonel performansı bütünleşik şekilde ele alan ileri düzey tasarım stratejilerine dönüşmesini sağlamıştır. Bu bağlamda, özellikle üç boyutlu (3D) dokuma yapıları, çok katlı kumaş sistemleri ve çok eksenli dokuma teknikleri, klasik iki boyutlu yüzey tasarım anlayışının ötesine geçerek hacimsel ve fonksiyonel özelliklerin birlikte tasarlanmasına imkân tanımaktadır (Chen, 2011; Hu, 2008).

Yapısal desenlendirme kapsamında geliştirilen 3D ve spacer dokuma yapıları, kumaş yüzeyinde yalnızca görsel farklılıklar oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda mekanik dayanım, darbe sönümleme ve hava geçirgenliği gibi performans özelliklerinin optimize edilmesine olanak sağlamaktadır. Benzer şekilde, çok katlı ve çok eksenli dokuma sistemleri, iplik yönelimlerinin kontrolü sayesinde anisotropik özelliklerin tasarlanmasını mümkün kılmakta ve teknik tekstil uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır (Chen, 2011).



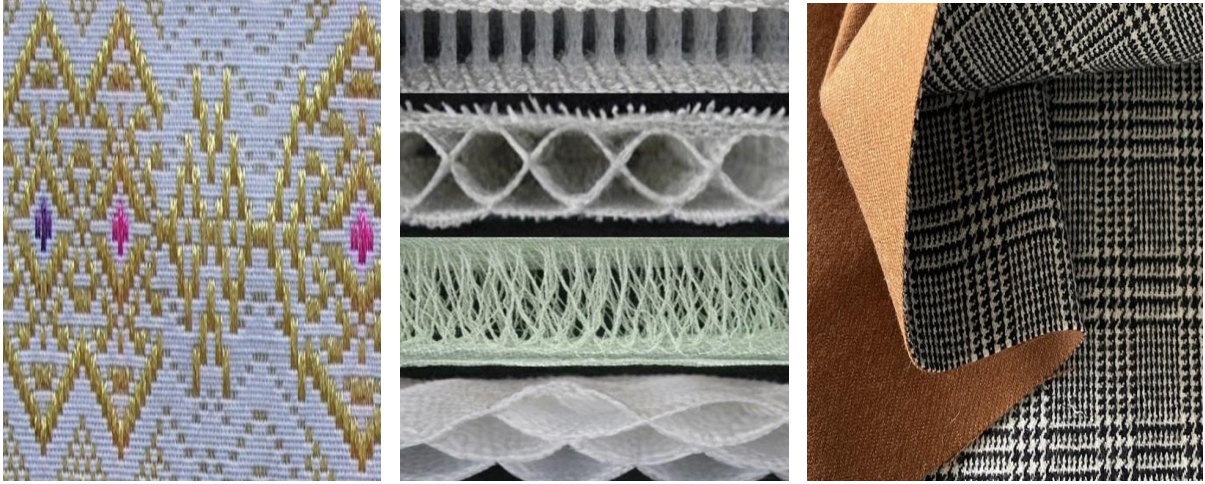
**Şekil 15.** 3D dokuma (a) ve çok eksenli dokuma (b) kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Fonksiyonel desenlendirme yaklaşımlarında ise kumaş yüzeyinde değişken yoğunluk bölgelerinin oluşturulması, lokal mukavemet artırımı ve performans odaklı tasarım stratejilerinin geliştirilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda, iletken ipliklerin entegrasyonu ile geliştirilen e-tekstil uygulamaları, sensör entegrasyonu ve veri iletimi gibi ileri fonksiyonların tekstil yüzeyine kazandırılmasına olanak tanımaktadır. Ayrıca nem yönetimi, termal konfor ve esneklik gibi özelliklerin bölgesel olarak kontrol edilebilmesi, fonksiyonel desenlendirme yaklaşımlarının önemini artırmaktadır (Stoppa & Chiolerio, 2014; Tao, 2001).



**Şekil 16.** Sensör entegrasyonlu (a) ve ekstra güçlendirilmiş (b) kumaş (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur)

Bununla birlikte, hibrit yaklaşımlar kapsamında farklı desenlendirme tekniklerinin birlikte kullanılması, daha kompleks ve çok fonksiyonlu kumaş yapılarının geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle jakar sistemleri ile ekstra atkı uygulamalarının kombinasyonu, çift katlı kumaş yapıların entegrasyonu ve 3D dokuma tekniklerinin fonksiyonel ipliklerle birlikte kullanılması, ileri düzey tekstil tasarımında estetik ve performansın eş zamanlı olarak optimize edilmesine olanak sağlamaktadır (Chen, 2011).



**Şekil 17.** Ekstra atkılı jakarlı kumaş (a) 3D ve ekstra atkılı kumaş (b) ve çift katlı kumaş (c) (görseller çeşitli kaynaklardan derlenerek yazarlar tarafından oluşturulmuştur

Sonuç olarak, gelişmiş desenlendirme yaklaşımları, dokuma kumaş tasarımını yalnızca yüzey estetiği ile sınırlı olmayan, çok parametrel ve disiplinler arası bir mühendislik problemi haline dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, tekstil yüzeylerinin hem görsel hem de fonksiyonel açıdan yeniden tanımlanmasına olanak sağlayarak, akıllı tekstiller ve teknik tekstiller başta olmak üzere pek çok uygulama alanında yenilikçi çözümlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

## 2. SONUÇ

Dokuma kumaş tasarımı, örgü yapısı, iplik özellikleri ve renk düzenlemelerinin bir araya gelmesiyle oluşan çok katmanlı ve bütüncül bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, örgü yapısının ritmik düzeni, renklerin uyumlu dağılımı ve yapısal organizasyonun bütünlüğü, kumaş yüzeyinde oluşan estetik ve fonksiyonel özelliklerin temel belirleyicileri olarak öne çıkmaktadır. Bu çok bileşenli yapı, dokuma kumaş tasarımını yalnızca görsel bir kompozisyon olmaktan çıkarak, mühendislik ve tasarım disiplinlerinin kesişiminde yer alan kompleks bir süreç haline getirmektedir.

Bu çalışma kapsamında, dokuma kumaşlarda desenlendirme yaklaşımları yapısal, bitim sonrası ve gelişmiş/yeni nesil yöntemler olmak üzere sistematik bir çerçevede ele alınmış ve mevcut literatürde dağınık şekilde yer alan bilgiler bütüncül bir bakış açısıyla yeniden

sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulgular, dokuma tezgâhlarının yalnızca bir üretim aracı değil, yüksek düzeyde programlanabilirlik ve tasarım esnekliği sunan ileri düzey üretim platformları olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, dokuma kumaşlarda desenlendirme kavramı, estetik tasarımın ötesine geçerek fonksiyonel performans, malzeme mühendisliği ve ileri üretim teknolojilerinin entegre edildiği çok boyutlu bir tasarım problemi haline dönüşmektedir. Bu dönüşüm, özellikle akıllı tekstiller, teknik tekstiller ve fonksiyonel yüzey tasarımları alanlarında yenilikçi uygulamaların geliştirilmesine zemin hazırlamakta olup, gelecekte disiplinler arası çalışmaların önemini daha da artıracaktır.

### KAYNAKÇA

- Adanur, S. (2001). *Handbook of weaving*. CRC Press.
- Başer, G. (1998). *Dokuma tekniği ve sanatı*. Ege Üniversitesi Yayınları.
- Broadbent, A. D. (2001). *Basic principles of textile coloration*. Society of Dyers and Colourists.
- Chen, X. (2011). *Advances in 3D textiles*. Woodhead Publishing.
- Choudhury, A. K. R. (2014). *Principles of textile finishing*. Woodhead Publishing.
- Collier, B. J., & Epps, H. H. (1999). *Textile testing and analysis*. Prentice Hall.
- Emery, I. (1966). *The primary structures of fabrics*. Thames & Hudson.
- Glock, R. E., & Kunz, G. I. (2005). *Apparel manufacturing: Sewn product analysis*. Pearson.
- Grosicki, Z. J. (2004). *Watson's textile design and colour*. Woodhead Publishing.
- Hearle, J. W. S., Grosberg, P., & Backer, S. (2001). *Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics*. Woodhead Publishing.
- Hu, J. (2004). *Structure and mechanics of woven fabrics*. Woodhead Publishing.
- Hu, J. (2008). *3D fibrous assemblies: Properties, applications and modelling of three-dimensional textile structures*. Woodhead Publishing.
- Kadolph, S. J. (2007). *Textiles* (10th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Lord, P. R., & Mohamed, M. H. (1982). *Weaving: Conversion of yarn to fabric*. Mellow Publishing.
- Milašius, R., Milašius, V., & Kumpikaite, E. (2010). Influence of fabric structure on mechanical properties of woven fabrics. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 16(3), 248–252.
- Özek, Z. (2014). *Tekstilde tasarım ve ürün geliştirme (LÜ-T.04) lisansüstü ders notları* (2013–2014 Bahar yarıyılı). Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pierce, F. T. (1937). The geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute*, 28, T45–T96.
- Shore, J. (1995). *Cellulosics dyeing*. Society of Dyers and Colourists.
- Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: A critical review. *Sensors*, 14(7), 11957–11992.
- Tao, X. (2001). *Smart fibres, fabrics and clothing*. Woodhead Publishing.
- Udale, J. (2014). *Textiles and fashion*. Bloomsbury.
- Ujiie, H. (2006). *Digital printing of textiles*. Woodhead Publishing.

## FIELD EVALUATION OF COMPACTED RECYCLED AGGREGATE LAYERS FOR PAVEMENT SUBGRADE IMPROVEMENT

**Dr. Sacit SARIMURAT**

ASELSAN, 06200 Yenimahalle, Ankara

**ORCID ID:** 0000-0003-4572-2448

### ABSTRACT

Sustainable construction practices are increasingly emphasizing the reuse of construction and demolition waste in civil engineering applications. This study presents a field-based assessment of compacted recycled aggregate (RA) layers applied as a subgrade improvement technique for road and pavement systems. The test section consisted of multiple layers of RA, each compacted to achieve target densities, and monitored for settlement, deformation, and load-bearing performance under controlled static and dynamic loading conditions. Field measurements indicate that properly compacted RA layers can provide significant enhancement in subgrade stiffness and bearing capacity, reducing surface deformations and improving load distribution. Settlement analysis shows that multi-layer RA systems reduce vertical deformation compared to conventional natural soil subgrades, achieving performance comparable to traditional granular materials. Instrumentation, including plate load tests and deflection measurements, was employed to evaluate mechanical behavior and long-term performance. The study also highlights critical factors affecting performance, including layer thickness, compaction effort, aggregate gradation, moisture content, and interaction with underlying soil layers. Long-term monitoring and in-situ testing confirm that RA layers, when properly designed and implemented, offer a cost-effective and environmentally sustainable solution for subgrade stabilization, while also promoting circular economy principles in civil engineering. These findings provide practical guidance for engineers considering the integration of recycled materials in infrastructure projects, balancing sustainability goals with structural, serviceability, and durability requirements.

**Keywords:** Recycled aggregate, subgrade improvement, compacted layers, settlement, load-bearing capacity

## A SYSTEMATIC ANALYSIS OF PRIORITIZATION FRAMEWORKS FOR THE RENEWAL OF AGING RESIDENTIAL BUILDINGS

**Zafer ELBAN**

Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, Istanbul, Türkiye

**ORCID:** 0009-0004-5551-5666

**Harun TURKOGLU**

Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, Istanbul, Türkiye

**ORCID:** 0000-0002-2484-4553

**Atila DAMCI**

Istanbul Technical University, Department of Civil Engineering, Istanbul, Türkiye

**ORCID:** 0000-0003-0965-2673

**ABSTRACT**

The sustainability of metropolitan areas is significantly jeopardized by rapid urbanization, rising seismic risks, and, most critically, an aging building stock. The renewal of aging residential buildings is essential in earthquake-prone cities, such as Istanbul, to improve urban resilience and mitigate potential disasters. However, the multidimensional nature of urban dynamics and limited public resources require strategic prioritization among pre-designated residential buildings. In this process, decision-makers encounter significant challenges due to the variety of evaluation criteria and the complexity of decision-making methods. Despite the existence of several theoretical frameworks, there is a lack of thorough analysis that systematically classifies the utilized Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods and evaluation criteria in the context of aging residential building prioritization. To address this research gap, a systematic analysis was conducted using the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines, covering publications across the Web of Science, Scopus, and Google Scholar databases. The findings reveal a significant methodological transition from traditional, subjective decision-making methods to data-driven objective weighting methods and hybrid ranking algorithms. Structural and geological criteria consistently emerge as the predominant factors in these evaluations. As a result, this study offers researchers a comprehensive view of the methodological advancements in aging residential building prioritization, as well as strategic guidance for decision-makers for the selection of suitable criteria and methods for future quantitative models.

**Keywords:** decision support; multi-criteria decision making (MCDM); prioritization; renewal of aging residential buildings; systematic analysis.

## ÜRETİM PARAMETRELERİNİN LAZER TOZ YATAĞI FÜZYONU İLE İMAL EDİLEN Ti6Al4V ELI ALAŞIMININ AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

**Dr. Öğr. Üyesi Hilmi TEKDIR**

Erzurum Technical University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering,  
25100 Yakutiye, Erzurum

**ORCID ID:** 0000-0002-9141-9514

### ÖZET

Eklemeli imalat (Eİ), karmaşık geometrili ve özelleştirilmiş mekanik özelliklere sahip yapıların üretiminde sağladığı avantajlar sayesinde son yıllarda yüksek talep görmektedir. Özellikle Lazer Toz Yatağı Füzyonu (L-PBF) yöntemi; yüksek mukavemet/ağırlık oranı, korozyon direnci ve biyouyumluluğu ile öne çıkan Ekstra Düşük Arayerli (ELI) Ti6Al4V varyantı gibi titanyum alaşımlarının üretiminde havacılık, otomotiv ve biyomedikal sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, L-PBF ile üretilen parçalarda istenen mekanik ve tribolojik özelliklerin elde edilmesi, üretim parametrelerinin hassas kontrolünü gerektirmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, L-PBF yönteminde farklı ısı girdilerinin Ti6Al4V ELI alaşımının mikroyapısı, yoğunluğu, sertliği ve aşınma performansı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu kapsamda  $10 \times 10 \times 4 \text{ mm}^3$  boyutlarındaki numuneler; sırasıyla 50 W-400 mm/s (N1), 75 W-800 mm/s (N2) ve 100 W-1200 mm/s (N3) parametreleriyle üretilmiştir. Bu numunelerin hacimsel enerji yoğunlukları (VED) sırasıyla 111, 83.3 ve 74.07 J/mm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Numunelerin bağıl yoğunlukları Arşimet prensibiyle, kristal yapı analizleri XRD ve mikroyapı incelemeleri SEM ile yapılmıştır. Aşınma testleri, kuru ortamda (25 °C), ileri-geri (reciprocating) hareket modunda 3 N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bilye kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, iz analizleri 3D profilometre ile incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Arşimet bağıl yoğunlukları azalan VED sırasına göre N1, N2 ve N3 için %99.6, %98.4 ve %99.2 olarak hesaplanmıştır. Yüzey sertliği değerleri en yüksek enerji yoğunluğunda (N1) 395 HV<sub>0.1</sub> iken, artan tarama hızına bağlı yetersiz ergime kusurları nedeniyle N3'te 350 HV<sub>0.1</sub>'e kadar düşmüştür. Yüksek enerji girdisi XRD piklerinde daralmaya neden olmuştur. Aşınma izlerine göre; azalan gözeneklilik ve artan yüzey sertliği ile uyumlu olarak, %99.6 bağıl yoğunluğa ve 395 HV<sub>0.1</sub> sertlik değerine sahip N1 numunesinin aşınma izi derinliği ve hacminin minimize edildiği ve bu nedenle en iyi aşınma direncini bu numune grubunun gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Lazer Toz Yatağı Füzyonu (L-PBF), Ti6Al4V ELI, Üretim Parametreleri, Aşınma Davranışı

## **EFFECT OF PROCESSING PARAMETERS ON THE WEAR BEHAVIOR OF Ti6Al4V ELI ALLOY FABRICATED VIA LASER POWDER BED FUSION**

### **ABSTRACT**

Additive manufacturing (AM) has been in high demand in recent years due to its advantages in producing structures with complex geometries and customized mechanical properties. In particular, the Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) method is widely used in the aerospace, automotive, and biomedical sectors for processing titanium alloys, such as the Extra Low Interstitial (ELI) Ti6Al4V variant, which stands out for its high strength-to-weight ratio, corrosion resistance, and biocompatibility. However, achieving the desired mechanical and tribological properties in L-PBF-fabricated parts requires precise control of the processing parameters. Therefore, the aim of this study is to investigate the effect of different heat inputs in the L-PBF method on the microstructure, density, hardness, and wear performance of the Ti6Al4V ELI alloy. In this context, specimens with dimensions of 10x10x4 mm<sup>3</sup> were fabricated using parameters of 50 W-400 mm/s (N1), 75 W-800 mm/s (N2), and 100 W-1200 mm/s (N3), respectively. The volumetric energy densities (VED) of these specimens were calculated as 111, 83.3, and 74.07 J/mm<sup>3</sup>, respectively. The relative densities of the specimens were determined using the Archimedes principle, crystal structure analyses were performed via XRD, and microstructural examinations were conducted using SEM. Wear tests were carried out in a dry environment (25 °C) under reciprocating motion with a 3 N load using an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> counter body ball, and the wear track analyses were investigated using a 3D profilometer. According to the analysis results, the Archimedes relative densities were calculated as 99.6%, 98.4%, and 99.2% for N1, N2, and N3, respectively, in order of decreasing VED. While the surface hardness value was 395 HV<sub>0.1</sub> at the highest energy density (N1), it decreased to 350 HV<sub>0.1</sub> in N3 due to lack-of-fusion defects associated with the increased scanning speed. High energy input caused a narrowing of the XRD peaks. According to the wear tracks, consistent with the decreased porosity and increased surface hardness, it was observed that the wear track depth and volume of the N1 specimen, which has a relative density of 99.6% and a hardness value of 395 HV<sub>0.1</sub>, were minimized, thus demonstrating the best wear resistance among the sample groups.

**Keywords:** Laser Powder Bed Fusion (L-PBF), Ti6Al4V ELI, Processing Parameters, Wear Behavior

### **1. INTRODUCTION**

Additive manufacturing (AM) has gained increasing attention in recent years for its exceptional capability to fabricate structures with intricate geometries and tailored mechanical properties

(Buchanan & Gardner, 2019). Among various AM techniques, Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) has emerged as a prominent method for processing titanium alloys, particularly Ti6Al4V and its extra-low interstitial (ELI) variant (Rafi et al., 2013; Sorrentino et al., 2024). Owing to its high specific strength, corrosion resistance, and excellent biocompatibility, the Ti6Al4V ELI alloy is widely preferred in the aerospace, automotive, and biomedical sectors (Palmeri et al., 2022). However, despite their superior mechanical properties, titanium and its alloys suffer from poor wear resistance, limiting their industrial applications in tribological environments (Attar et al., 2018).

Achieving the desired mechanical and tribological properties in L-PBF-fabricated Ti6Al4V ELI components requires careful control of the processing parameters (Frkan et al., 2019). The rapid melting and high cooling rates during the L-PBF process directly influence the microstructural evolution and, consequently, the resulting mechanical and wear properties of the fabricated parts (Attar et al., 2017). Existing studies have demonstrated that key L-PBF parameters, such as laser power, scanning speed, and hatch spacing, play a critical role in determining the density, microstructure, and hardness of the produced components (Palmeri et al., 2022; Saxena et al., 2021; Z. Sun et al., 2016).

Studies on the wear properties of parts produced with L-PBF are increasing in the literature, and these studies draw attention to the role of production parameters on tribological performance. For instance, it has been reported that fine-grained martensitic microstructures obtained by altering the energy density or laser scanning speed enhance the hardness and, subsequently, the wear resistance of the material (Attar et al., 2015; Gu et al., 2012). Conversely, lack-of-fusion porosities resulting from high scanning speeds or insufficient energy inputs during fabrication are known to increase material loss by acting as crack initiation sites during wear testing (Y. Sun et al., 2014). Therefore, it is of great importance to investigate the effect of the volumetric energy density (VED) applied in the L-PBF process on the tribological behavior of the material through a microstructural approach.

According to the scientific literature, comprehensive studies examining the influence of varying volumetric energy densities (VED) on the wear mechanisms of L-PBF-fabricated Ti6Al4V ELI alloys remain scarce. Therefore, this study aims to systematically evaluate the microstructural evolution and tribological properties of these alloys under different heat inputs. To achieve this, specimens were fabricated via L-PBF using specific laser power and scanning speed combinations: 50 W - 400 mm/s (N1), 75 W - 800 mm/s (N2), and 100 W - 1200 mm/s (N3). Their relative densities were determined based on the Archimedes principle, while

microstructural and mechanical properties were analyzed using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Vickers microhardness testing. Finally, dry sliding wear tests were conducted, and the resulting surface damage mechanisms were investigated utilizing a 3D profilometer.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Material Preparation and L-PBF Manufacturing

In this study, commercially available spherical Grade 23 Ti6Al4V ELI metal powders (trade name 'CL41 Ti ELI', Concept Laser) were utilized as the feedstock material. The precursor powder particles exhibited a spherical morphology with a size distribution ranging from 20 to 80  $\mu\text{m}$ . The chemical composition of the powder, provided by the supplier, is detailed in Table 1.

**Table 1.** Chemical composition of the precursor Ti6Al4V ELI powder (wt.%).

Material	Ti	Al	V	Fe	O	N	H	C
Ti6Al4V ELI	Balance	5.5–6.5	3.5–4.5	0–0.25	0–0.13	0–0.5	0–0.012	-

Prismatic specimens measuring  $20 \times 20 \times 4 \text{ mm}^3$  were fabricated using a commercial L-PBF system (MLab Cusing Machine, Concept Laser) equipped with a 100 W Ytterbium (Yb) continuous-wave fiber laser. To prevent high-temperature oxidation during the melting process, the build chamber was continuously purged with inert argon gas, ensuring the residual oxygen concentration remained strictly below 0.5%. The specimens were manufactured under three distinct process parameter combinations, designated as N1, N2, and N3, to assess the influence of varying heat inputs. The constant and variable processing parameters are summarized in Table 2.

**Table 2.** L-PBF processing parameters used for the fabrication of Ti6Al4V ELI specimens.

Sample Code	Laser Power, $P$ (W)	Scan Speed, $v$ (mm/s)	Layer Thickness, $t$ ( $\mu\text{m}$ )	Hatch Spacing, $h$ ( $\mu\text{m}$ )
N1	50	400	25	45
N2	75	800	25	45
N3	100	1200	25	45

To quantify the thermal energy delivered to the powder bed, the volumetric energy density (VED) for each parameter set was calculated using Equation 1 (Thijs et al., 2010; Weingarten et al., 2015):

$$VED = \frac{P}{v \times h \times t} \quad (1)$$

where  $P$  denotes the laser power (W),  $v$  is the scanning speed (mm/s),  $h$  represents the hatch spacing (mm), and  $t$  is the layer thickness (mm).

## 2.2. Density and Microstructural Characterization

The relative density of the printed samples was experimentally measured based on the Archimedes principle. For each parameter set, three independent measurements were taken, and the average was recorded. The relative density percentage ( $\eta$ ) was calculated according to Equation 2 :

$$\eta = \frac{m_1 \times \rho_2}{(m_1 - m_2) \times \rho_1} \times 100 \quad (2)$$

where  $m_1$  and  $m_2$  represent the mass of the specimen in air and distilled water, respectively.  $\rho_1$  is the theoretical density of the Ti6Al4V ELI alloy, and  $\rho_2$  denotes the density of water at room temperature.

To identify the constituent phases of the fabricated components, X-ray diffraction (XRD) was performed using a GNR Explorer diffractometer equipped with a Cu-K $\alpha$  radiation source. The obtained diffraction profiles were matched with Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) reference cards utilizing Match software to validate the phase formations. Microstructural evaluations and surface morphology observations were conducted on a scanning electron microscope (SEM, FEI Quanta 250).

The mechanical response of the specimens was preliminarily assessed via Vickers microhardness testing (Shimadzu HMV-G-20). Indentations were performed using a test load of 100 g and a dwell time of 20 s. To ensure statistical reliability, ten consecutive measurements were taken across the surface of each sample, and the mean hardness values were calculated.

## 2.3. Tribological Testing and Surface Analysis

The dry sliding wear behavior of the L-PBF manufactured samples was evaluated utilizing a reciprocating tribometer configuration. The tests were carried out under unlubricated, ambient room temperature conditions against a hard Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> counterbody ball. The specific conditions adopted for the wear tests are presented in Table 3.

**Table 3.** Parameters applied during the dry reciprocating wear tests.

Parameter	Value / Condition
Test configuration	Reciprocating sliding
Normal load (N)	3
Stroke length (mm)	8
Sliding velocity (mm/s)	8
Test duration (s)	1800
Counterbody material	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ball
Temperature (°C) / Conditions	Room temperature (25 ± 2)
Test Conditions	Dry

During the reciprocating motion, the dynamic coefficient of friction (COF) was recorded automatically by the tribometer software. Following the tests, the specific wear rate ( $V$ , in  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ) was quantified using Equation 3 (Tekdir & Yetim, 2021):

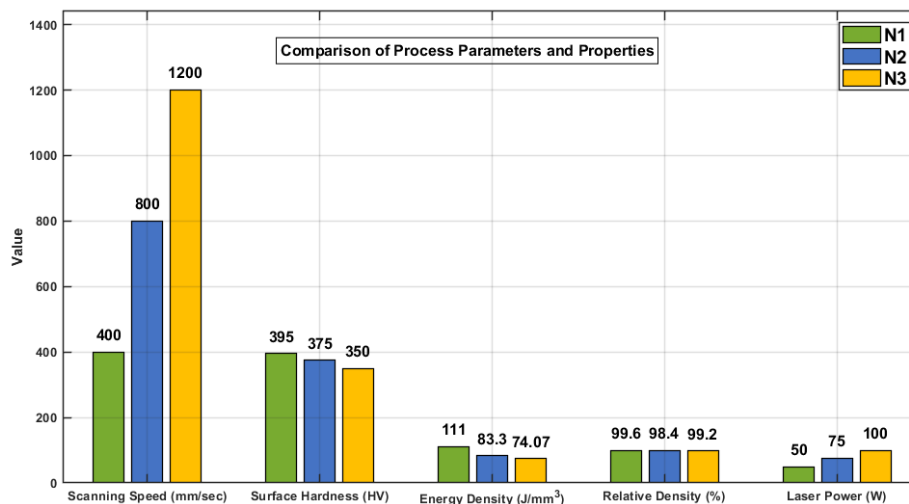
$$V = \frac{W}{w \times s} \quad (3)$$

where  $W$  indicates the total wear volume loss ( $\text{mm}^3$ ),  $w$  is the applied normal load (N), and  $s$  represents the total sliding distance (m). To guarantee reproducibility and ensure a 95% confidence level, the tribological tests were repeated three times for each L-PBF parameter set. Finally, the morphological features of the wear tracks, surface roughness, and corresponding damage mechanisms were comprehensively analyzed using a 3D optical profilometer (Bruker Contour GT) and SEM imaging.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Volumetric Energy Density, Relative Density, and Hardness

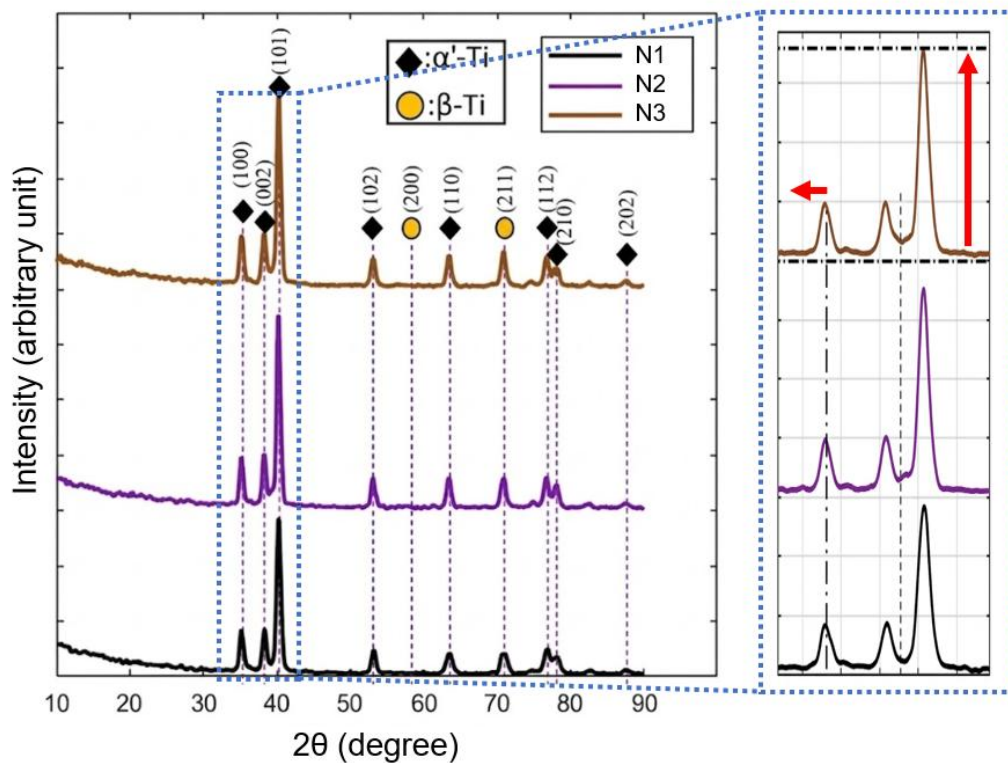
According to Equation 1, the applied VED levels for the N1, N2, and N3 groups were calculated as 111.0, 83.3, and 74.07  $\text{J}/\text{mm}^3$ , respectively. As depicted in Fig. 1, Archimedes density measurements confirmed near-complete densification across all parameter sets, yielding relative densities of 99.6%, 98.4%, and 99.2%. Furthermore, a clear positive correlation emerged between the thermal input and mechanical strength. The highest surface hardness (395  $\text{HV}_{0.1}$ ) was recorded in the N1 specimen, which received the maximum energy, whereas the lowest value (350  $\text{HV}_{0.1}$ ) was observed in the N3 specimen.



**Fig. 1.** Process parameters, calculated VEDs, and the corresponding relative density and surface hardness measurements of the L-PBF samples.

### 3.2. Phase Composition and Microstructural Evaluation

Fig. 2 illustrates the X-ray diffraction profiles of the fabricated parts, highlighting how variations in thermal input dictate the crystallographic architecture. The N1 sample, processed with the maximum VED, exhibits notably sharper and more intense diffraction peaks. This structural refinement suggests that elevated energy levels enlarge the melt pool volume, thereby encouraging the growth of larger and more ordered crystallites. Additionally, the phase analysis reveals a microstructure heavily dominated by the  $\alpha$  and metastable  $\alpha'$  phases, with only negligible traces of the  $\beta$  phase. This specific phase distribution is a direct consequence of the extreme cooling rates inherent to L-PBF, which thermodynamically trigger diffusion less martensitic ( $\alpha'$ ) transformations. Therefore, precisely regulating the laser parameters remains essential for controlling the final phase composition of the alloy (Simonelli et al., 2014).

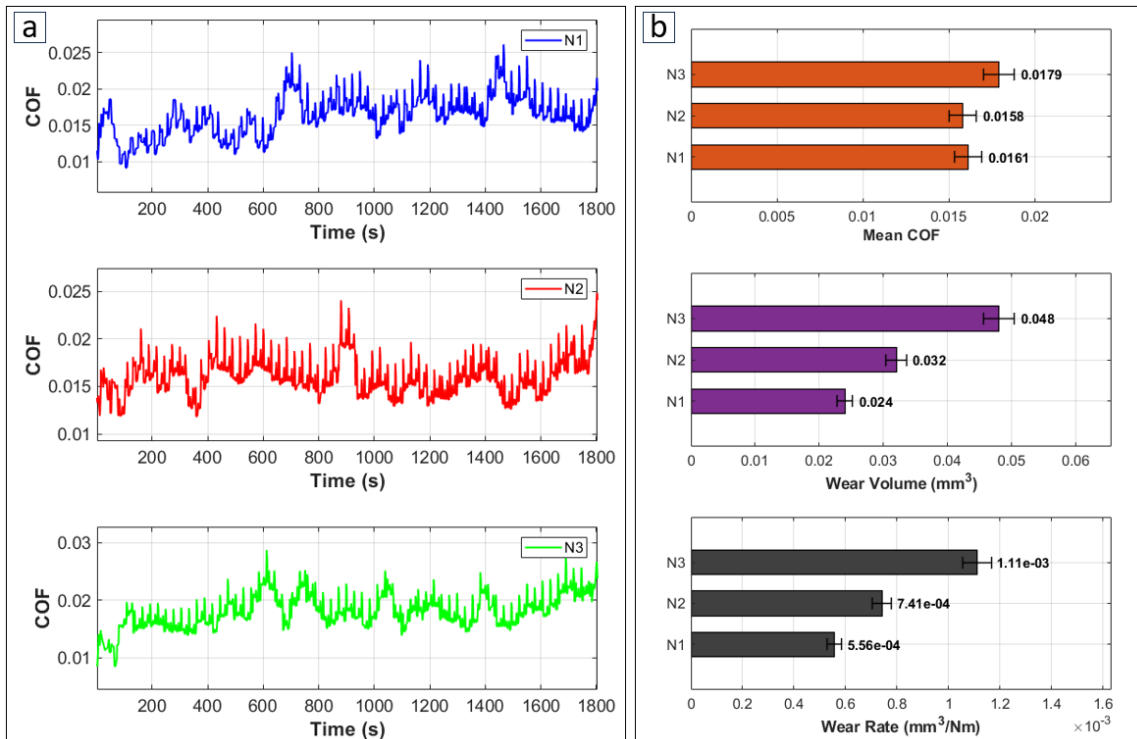


**Fig. 2.** XRD diffractograms of the N1, N2, and N3 specimens, demonstrating the influence of varying heat inputs on peak intensity and phase formation.

### 3.3. Tribological Performance and Wear Behavior

The tribological characteristics of the L-PBF processed Ti6Al4V ELI specimens were systematically evaluated, and the findings are graphically summarized in Fig. 3. The real-time evolution of the coefficient of friction (COF) for the N1, N2, and N3 samples over the 1800 s test duration is plotted in Fig. 3a. All dynamic COF curves display characteristic fluctuations

throughout the sliding period. This common phenomenon is typically attributed to the continuous generation, entrapment, and ejection of abrasive wear debris at the contact interface.



**Fig. 3.** Tribological performance of samples: (a) Variation of friction coefficient over time, (b) Comparative analysis of average COF, wear volume, and wear rate.

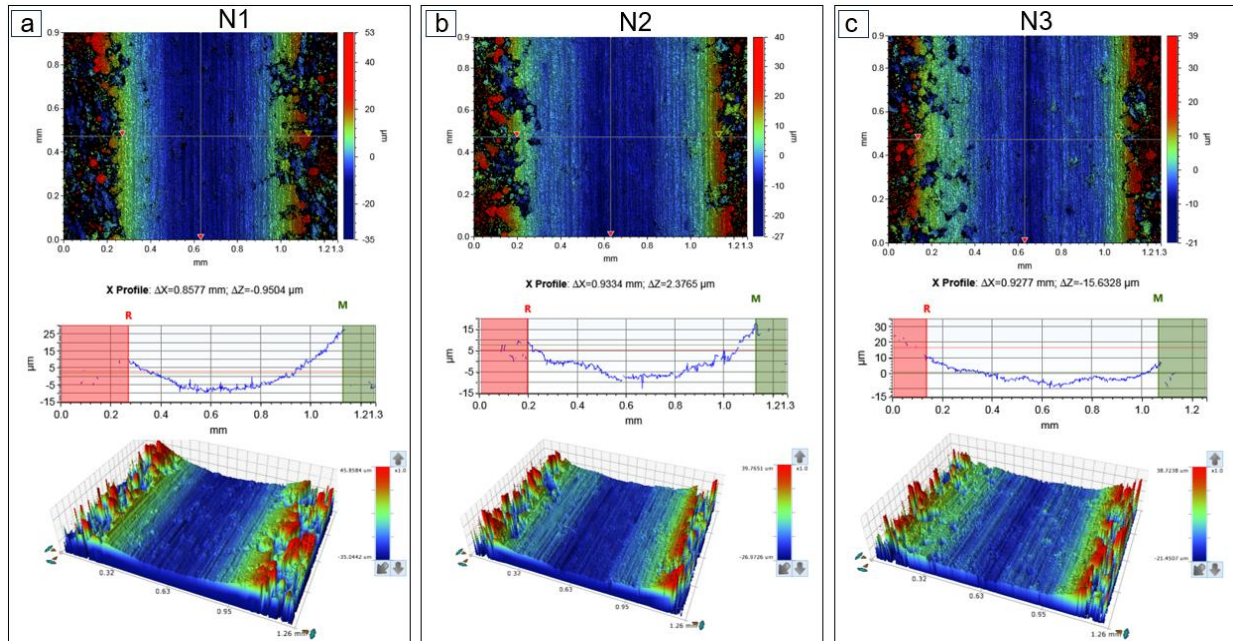
The quantitative tribological data, such as mean COF, wear volume, and wear rate, are presented in Fig. 3b. These results highlight a strong correlation between the mechanical characteristics and wear behavior of the samples. The N1 specimen showed the highest surface hardness of 395 HV<sub>0.1</sub> alongside a relative density of 99.6%. According to Archard's wear law, these superior mechanical properties directly contributed to its excellent wear resistance. Consequently, the N1 specimen recorded the minimum wear volume (0.024 mm<sup>3</sup>) and the lowest specific wear rate (5.56 × 10<sup>-4</sup> mm<sup>3</sup>/Nm). The combination of high density and hardness effectively limits severe plastic deformation and prevents material detachment during the sliding process.

On the other hand, the N3 sample was produced with the lowest energy input and exhibited a reduced hardness of 350 HV<sub>0.1</sub>. As a result, it experienced the most significant material loss. The data confirms this severe damage with a maximum wear volume of 0.048 mm<sup>3</sup>, a peak wear rate of 1.11 × 10<sup>-3</sup> mm<sup>3</sup>/Nm, and the highest mean COF of 0.0179. It is worth noting that the mean COF of N1 (0.0161) was slightly higher than that of N2 (0.0158). However, the wear volume and wear rate of N1 were much lower. This clearly indicates that controlling the energy

input to optimize density and hardness is the main factor for improving the overall tribological performance of the alloy.

### 3.4. 3D Surface Topography and Wear Mechanisms

The 3D profilometer images of the worn surfaces were analyzed to understand the dominant wear mechanisms. These topographical scans are presented in **Fig. 4**.



**Fig. 4.** 3D profilometer images and cross-sectional profiles of the wear tracks for the L-PBF specimens: (a) N1, (b) N2, and (c) N3.

**Fig. 4a** displays the wear track of the N1 specimen. The surface morphology of this sample reveals that adhesive wear is the primary mechanism. The track appears relatively shallow, and it lacks severe plowing marks. This mild damage profile aligns with its high surface hardness. In contrast, the N2 (**Fig. 4b**) and N3 (**Fig. 4c**) specimens exhibit much rougher and deeper wear tracks. Deep, parallel plowing grooves and distinct scratch lines are highly visible across these surfaces. These specific features clearly indicate a shift towards a predominantly abrasive wear mechanism.

These topographical observations directly support the quantitative wear data previously shown in **Fig. 3**. The severe abrasive plowing observed in the N2 and N3 groups explains their high wear volumes. Consequently, the transition from mild adhesive wear in N1 to aggressive abrasive wear in N2 and N3 visually confirms why the latter specimens suffered significantly greater material damage.

## 4. CONCLUSIONS

In conclusion, this study highlights that the tribological performance of L-PBF processed Ti6Al4V ELI is fundamentally governed by the volumetric energy density and the resulting

material densification. The N1 specimen, fabricated with the highest energy input, achieved near-full density (99.6%) and the highest surface hardness (395 HV<sub>0.1</sub>), which resulted in superior wear resistance and a mild adhesive wear mechanism. In contrast, the lower energy input in specimens N2 and N3 led to decreased hardness and a transition toward aggressive abrasive wear, characterized by deep plowing grooves and significantly higher material loss. These results demonstrate that optimizing L-PBF processing parameters to maximize density and hardness is essential for enhancing the structural integrity and wear life of additive manufactured titanium components in engineering applications.

## REFERENCES

- Attar, H., Ehtemam-Haghighi, S., Kent, D., & Dargusch, M. S. (2018). Recent developments and opportunities in additive manufacturing of titanium-based matrix composites: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 133, 85–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2018.06.003>
- Attar, H., Ehtemam-Haghighi, S., Kent, D., Okulov, I. V., Wendrock, H., Bönisch, M., Volegov, A. S., Calin, M., Eckert, J., & Dargusch, M. S. (2017). Nanoindentation and wear properties of Ti and Ti-TiB composite materials produced by selective laser melting. *Materials Science and Engineering: A*, 688(December 2016), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.01.096>
- Attar, H., Prashanth, K. G., Chaubey, A. K., Calin, M., Zhang, L. C., Scudino, S., & Eckert, J. (2015). Comparison of wear properties of commercially pure titanium prepared by selective laser melting and casting processes. *Materials Letters*, 142, 38–41. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.11.156>
- Buchanan, C., & Gardner, L. (2019). Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. *Engineering Structures*, 180(November 2018), 332–348. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.045>
- Frkan, M., Konecna, R., Nicoletto, G., & Kunz, L. (2019). Microstructure and fatigue performance of SLM-fabricated Ti6Al4V alloy after different stress-relief heat treatments. *Transportation Research Procedia*, 40, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.005>
- Gu, D., Hagedorn, Y. C., Meiners, W., Meng, G., Batista, R. J. S., Wissenbach, K., & Poprawe, R. (2012). Densification behavior, microstructure evolution, and wear performance of selective laser melting processed commercially pure titanium. *Acta Materialia*, 60(9), 3849–3860. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.04.006>
- Palmeri, D., Buffa, G., Pollara, G., & Fratini, L. (2022). Sample building orientation effect on porosity and mechanical properties in Selective Laser Melting of Ti6Al4V titanium alloy. *Materials Science and Engineering A*, 830(November 2021), 142306. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2021.142306>
- Rafi, H. K., Karthik, N. V., Gong, H., Starr, T. L., & Stucker, B. E. (2013). Microstructures and mechanical properties of Ti6Al4V parts fabricated by selective laser melting and electron beam melting. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(12), 3872–3883. <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0658-0>
- Saxena, P., Gajera, H., Shah, D., & Pancholi, N. (2021). Effect of SLM process parameters on hardness and microstructure of stainless steel 316 material. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1653–1659. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.144>
- Simonelli, M., Tse, Y. Y., & Tuck, C. (2014). Effect of the build orientation on the mechanical properties and fracture modes of SLM Ti-6Al-4V. *Materials Science and Engineering: A*, 616, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.07.086>
- Sorrentino, A., Genovese, K., Nicolini, L., & Castagnetti, D. (2024). A biomimetic chiral auxetic vertebral meta-shell. *Smart Materials and Structures*, 33(10). <https://doi.org/10.1088/1361-665X/ad7ca5>

- Sun, Y., Moroz, A., & Alrbaey, K. (2014). Sliding wear characteristics and corrosion behaviour of selective laser melted 316L stainless steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(2), 518–526. <https://doi.org/10.1007/s11665-013-0784-8>
- Sun, Z., Tan, X., Tor, S. B., & Yeong, W. Y. (2016). Selective laser melting of stainless steel 316L with low porosity and high build rates. *Materials and Design*, 104, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.05.035>
- Tekdir, H., & Yetim, A. F. (2021). Additive manufacturing of multiple layered materials (Ti6Al4V/316L) and improving their tribological properties with glow discharge surface modification. *Vacuum*, 184(August 2020), 109893. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109893>
- Thijs, L., Verhaeghe, F., Craeghs, T., Humbeeck, J. Van, & Kruth, J. P. (2010). A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti-6Al-4V. *Acta Materialia*, 58(9), 3303–3312. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2010.02.004>
- Weingarten, C., Buchbinder, D., Pirch, N., Meiners, W., Wissenbach, K., & Poprawe, R. (2015). Formation and reduction of hydrogen porosity during selective laser melting of AlSi10Mg. *Journal of Materials Processing Technology*, 221, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2015.02.013>

## **BIG DATA ANALYTICS FOR POLICY DECISION-MAKING IN POVERTY REDUCTION**

**MUHAMMAD FAISAL**

Assistant Professor (AI) at Allama Iqbal Open University

**ORCID: 0000-0002-5797-766X**

### **ABSTRACT**

Big data analytics offers significant opportunities for improving policy decision-making in poverty reduction. This research examines how large-scale administrative datasets from social protection programs can be used to generate actionable insights. By integrating data from BISP, PBM, PPAF, and PGEP, policymakers can analyze program outcomes, identify regional disparities, and evaluate intervention effectiveness. Advanced analytics techniques such as clustering and predictive modeling reveal hidden patterns in poverty dynamics. The study highlights the importance of data governance frameworks and digital infrastructure to support large-scale analytics. Implementing big data solutions will strengthen Pakistan's evidence-based policymaking and enhance the impact of poverty alleviation programs.

**Keywords:** Big Data Analytics, Policy Analysis, Social Protection, Data Science

## PRECISION FERTILIZATION AND SUSTAINABLE PRACTICES FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION

**ELABBARI Chaimaa<sup>1</sup>, Pr. Labjar Najoua<sup>2</sup>, Oujidane El ouali<sup>3</sup>, EL BOUZIDI Ahmed<sup>4</sup>, ZINAOUI Badre<sup>5</sup>, Pr.EL Hajjaji souad<sup>1</sup>**  
*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 agricultura, Environmental protection, Climate change resilience

## SMART GREEN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL INNOVATIONS: ENHANCING PUBLIC HEALTH AND PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN THE DIGITAL AGE

**MSc. Selvije Lajqi,**

**ORCID:** 0009-0001-8777-7028

Faculty of Management in Tourism, Hospitality and Environment, University “Haxhi Zeka”Pejë, UÇK 30000, Pejë, Kosovo

**BSc.Florinda Vokshi**

Faculty of Applied Business Sciences

**Diana Vokshi** Faculty of Psychology University for Business and Technology (UBT)

Kalabria Neighborhood, 10000 Prishtina, Kosovo

### Abstract

Introduction/Problem: Urban expansion and environmental challenges, combined with the increasing digitalization of daily life, create new pressures on mental health and community well-being. While green technologies are emerging rapidly, their effectiveness in supporting psychological resilience is not fully understood. Aim: This research seeks to explore the role of smart environmental technologies and innovative sustainable solutions in improving public health and promoting mental well-being in contemporary urban settings. Methodology: A mixed-methods approach was employed, including analysis of recent empirical studies, surveys on community engagement with smart green initiatives, and assessment of digital tools for environmental monitoring. The study emphasizes the interplay between technology adoption, environmental quality, and psychological outcomes. Findings: Preliminary results suggest that neighborhoods utilizing smart green infrastructure report reduced stress and anxiety levels, improved sleep quality, and increased participation in pro-environmental behaviors. The integration of real-time digital feedback on environmental conditions enhances residents' sense of control and psychological resilience. Conclusion: Smart green technologies combined with innovative environmental strategies offer a modern framework to enhance public health and mental well-being while fostering sustainable urban living. Originality and Value: This study contributes a novel interdisciplinary perspective linking environmental innovation, digital technology, and psychology, providing actionable insights for urban planners, policymakers, and mental health professionals.

**Keywords:** Smart green technology, environmental innovation, public health, mental well-being, urban resilience

**THE SCIENTIFIC TALKS OF REWRITING THE CODE OF MEDICINE: FROM CONCEPT TO CURE, CURRENT ADVANCES, CLINICAL SUCCESSES, AND FUTURE HORIZONS IN GENE THERAPY**

N

**Olga Shapoval , Marika Sulashvili , Igor Seniuk , Tamar Okropiridze <sup>8</sup>**

**Elene Petriashvili , David Aphkhazava <sup>1</sup>**

M

D

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 Sulkhani-Sabashvili 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 (IANEB), 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. <https://orcid.org/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; <https://orcid.org/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. <https://orcid.org/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 Tbilisi State Medical University, Faculty of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;

M

PhD, Doctor of Biological Sciences, Full Professor of Biochemistry at Alte University; Invited Lecturer (Professor) of Biochemistry, University of Georgia; Full Professor of Biochemistry Georgian National University SEU, Invited Lecturer (Professor) of Molecular Biology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia.

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-6216-6477>

D

**Abstract**

c

Gene therapy has undergone a transformative evolution over the past decade, transitioning from experimental concept to established clinical modality with expanding regulatory approvals and diverse therapeutic applications. This comprehensive review synthesizes the current state of gene therapy as of 2024-2025, examining recent regulatory milestones, clinical trial developments, technological innovations, and persistent challenges facing the field. The past

f

o

B

g

o

b

two years have witnessed unprecedented progress. The landmark approval of Casgevy (exagamglogene autotemcel) in December 2023 marked the first CRISPR-based medicine authorized for clinical use, demonstrating that ex vivo gene editing in hematopoietic stem cells can achieve functional cures for sickle cell disease and transfusion-dependent beta thalassemia through fetal hemoglobin reactivation. In 2024 alone, seven novel cell and gene therapy products received FDA approval, representing significant firsts including the first tumor-infiltrating lymphocyte therapy (Amtagvi for melanoma), the first T-cell receptor therapy (Tecelra for synovial sarcoma), and the first mesenchymal stem cell product approved in the United States. Additional approvals encompassed AAV-based therapies for hemophilia B (Beqvez) and aromatic L-amino acid decarboxylase deficiency (Kebilida), as well as CAR-T therapy expansion beyond hematological malignancies toward autoimmune indications. The clinical development pipeline has expanded dramatically, with over 3,500 gene, cell, and RNA therapies in various stages of development globally, including more than 250 active CRISPR clinical trials. Cancer remains the dominant indication (49%), followed by blood disorders (18%), rare genetic diseases (15%), cardiovascular disease (8%), autoimmune disorders (5%), and diabetes (3%). This diversification reflects gene therapy's evolution from addressing rare monogenic conditions toward common diseases with substantial public health impact. Technological innovation continues across multiple platforms. Adeno-associated virus vectors remain the predominant in vivo delivery system, with engineered capsid variants demonstrating enhanced tissue tropism and reduced immunogenicity. Lentiviral vectors have proven essential for ex vivo applications including CAR-T cell therapy and hematopoietic stem cell gene modification. Next-generation genome editing tools including base editors and prime editors offer enhanced precision by enabling nucleotide-level changes without double-strand break formation, potentially addressing safety concerns regarding off-target effects. This review provides comprehensive analysis of current gene therapy modalities, clinical outcomes across major disease categories, regulatory frameworks accommodating platform technologies, and emerging technical frontiers. Realizing gene therapy's full potential requires addressing manufacturing scalability, developing sustainable economic models, advancing delivery technologies for previously inaccessible tissues, and ensuring equitable global access. The convergence of multiple therapeutic platforms, expanding clinical applications, and continued technical refinement positions gene therapy to fundamentally transform medical practice by addressing diseases at their molecular origins.

**Keywords:** gene therapy, CRISPR-Cas9, CAR-T cell therapy, adeno-associated virus (AAV), gene editing, cell therapy, clinical trials, personalized medicine.

## **Introduction**

Gene therapy has undergone a transformative evolution over the past decade, transitioning from an experimental concept to an established clinical modality with expanding regulatory approvals and diverse therapeutic applications. This comprehensive review synthesizes the current state of gene therapy as of 2024-2025, examining recent regulatory milestones, clinical trial developments, technological innovations, and persistent challenges facing the field. A systematic literature search was conducted across PubMed, Scopus, Web of Science, and regulatory agency databases (FDA, EMA) to identify peer-reviewed publications, clinical trial registrations, and approval documents from January 2023 through December 2025.

The past two years have witnessed unprecedented progress in gene therapy clinical translation. The landmark approval of Casgevy (exagamglogene autotemcel) in December 2023 marked the first CRISPR-based medicine authorized for clinical use, demonstrating that ex vivo gene editing in hematopoietic stem cells can achieve functional cures for sickle cell disease and transfusion-dependent beta thalassemia through fetal hemoglobin reactivation. In 2024 alone, seven novel cell and gene therapy products received FDA approval, representing significant firsts including the first tumor-infiltrating lymphocyte therapy (Amtagvi for melanoma), the first T-cell receptor therapy (Tecelra for synovial sarcoma), and the first mesenchymal stem cell product approved in the United States. Additional approvals encompassed AAV-based therapies for hemophilia B (Beqvez) and aromatic L-amino acid decarboxylase deficiency (Kebilida), as well as CAR-T therapy expansion beyond hematological malignancies into autoimmune indications.

The clinical development pipeline has expanded dramatically, with over 3,500 gene, cell, and RNA therapies in various stages of development globally, including more than 250 active CRISPR clinical trials. Analysis of trial distribution reveals cancer as the dominant indication (49%), followed by blood disorders (18%), rare genetic diseases (15%), cardiovascular disease (8%), autoimmune disorders (5%), and diabetes (3%). This diversification reflects gene therapy's evolution from addressing rare monogenic conditions toward common diseases with substantial public health impact.

Technological innovation continues to accelerate across multiple platforms. Adeno-associated virus vectors remain the predominant in vivo delivery system, with engineered capsid variants demonstrating enhanced tissue tropism and reduced immunogenicity. Lentiviral vectors have

proven essential for ex vivo applications including CAR-T cell therapy and hematopoietic stem cell gene modification. Next-generation genome editing tools including base editors and prime editors offer enhanced precision by enabling nucleotide-level changes without double-strand break formation, potentially addressing safety concerns regarding off-target effects and chromosomal rearrangements.

Despite remarkable clinical achievements, substantial barriers to broader implementation persist. Manufacturing complexities, particularly for autologous cell therapies requiring individualized production, create capacity limitations and contribute to treatment costs ranging from \$400,000 to \$4.25 million per patient. Pre-existing neutralizing antibodies to AAV capsids exclude 30-50% of potential recipients from treatment, while immune responses to vectors or transgene products can diminish therapeutic durability. Economic sustainability remains contentious, with tension between recognizing transformative clinical value and confronting pricing that challenges healthcare system capacity. International disparities in access raise ethical concerns, as populations with highest disease burdens in low and middle-income countries lack access to these potentially curative therapies.

This review provides a comprehensive analysis of current gene therapy modalities, clinical outcomes across major disease categories, regulatory frameworks accommodating platform technologies, and emerging technical frontiers including next-generation editing tools and novel delivery systems. Critical evaluation of translational challenges and future trajectories suggests that realizing gene therapy's full potential requires addressing manufacturing scalability, developing sustainable economic models, advancing delivery technologies for previously inaccessible tissues, and ensuring equitable global access. The convergence of multiple therapeutic platforms, expanding clinical applications, and continued technical refinement positions gene therapy to fundamentally transform medical practice by addressing diseases at their molecular origins.

Gene therapy has emerged as one of the most transformative approaches in modern medicine, transitioning from a promising experimental concept to an established clinical reality. This comprehensive article examines the current state of gene therapy advances as of 2024-2025, focusing on recent regulatory approvals, clinical trial developments, and technological innovations. The past two years have witnessed unprecedented progress, including the first CRISPR-based therapy approval (Casgevy), expansion of CAR-T cell therapies beyond hematological malignancies, and the development of personalized in vivo gene editing treatments. In 2024 alone, seven novel cell and gene therapy products received FDA approval,

marking significant firsts in the field: the first tumor-infiltrating lymphocyte (TIL) therapy, the first T-cell receptor (TCR) therapy, and the first mesenchymal stem cell product in the United States. The clinical pipeline has expanded dramatically, with over 250 CRISPR clinical trials active globally and approximately 3,500 gene, cell, and RNA therapies in various stages of development. Major therapeutic advances span multiple disease areas including blood disorders, cardiovascular disease, cancers, rare genetic conditions, diabetes, and autoimmune disorders. Despite these remarkable achievements, the field faces challenges including high treatment costs, manufacturing complexities, immunogenicity concerns, and recent reductions in venture capital investment and government research funding. This article provides a comprehensive analysis of current gene therapy modalities, clinical outcomes, emerging technologies, and translational challenges, while projecting future directions for this rapidly evolving therapeutic landscape.

Gene therapy represents a transformative paradigm shift in medicine, offering the potential to address diseases at their molecular origins rather than merely ameliorating symptoms. The fundamental therapeutic principle involves the deliberate introduction, deletion, or modification of genetic material within a patient's cells to treat or prevent disease (Wirth et al., 2013). After more than four decades of development marked by early promise, significant setbacks, and continuous refinement, gene therapy has emerged as an established clinical modality characterized by regulatory approvals, demonstrable clinical efficacy, and expanding therapeutic applications across diverse disease categories (Lapteva et al., 2020).

The conceptual and technical foundations of gene therapy span over forty years of scientific investigation. The first human gene therapy clinical trial was conducted in 1990, initiating an era of cautious optimism that was subsequently tempered by safety concerns and limited therapeutic efficacy in early studies (Cotrim and Baum, 2008). The field experienced a renaissance beginning in the 2010s, driven primarily by technological innovations in viral vector engineering, particularly adeno-associated virus (AAV) vectors, and the revolutionary development of CRISPR-Cas9 gene editing technology in 2012 (Weinberg et al., 2013). The year 2017 marked a watershed moment with the first gene therapy approvals by the United States Food and Drug Administration (FDA), and momentum has accelerated dramatically in subsequent years (Kumar et al., 2016).

The contemporary gene therapy landscape encompasses over 3,500 therapies spanning preclinical through clinical development stages worldwide, including approximately 250 CRISPR-specific clinical trials actively recruiting patients globally (Ginn et al., 2024; Davies

et al., 2024). The field has diversified substantially beyond rare monogenic disorders to address common diseases with significant public health impact, including cardiovascular disease, diabetes, autoimmune conditions, and various malignancies (Khan et al., 2024). Chimeric antigen receptor T-cell (CAR-T) therapy has achieved remarkable clinical success in hematological malignancies, with seven FDA-approved products demonstrating the clinical potential of genetically engineered cell therapies (Zhang et al., 2022; Lu and Jiang, 2022). The historic approval of Casgevy (exagamglogene autotemcel) in December 2023 represented the first CRISPR-based medicine authorized for clinical use, treating sickle cell disease and transfusion-dependent beta thalassemia through *ex vivo* editing of hematopoietic stem cells (Leonard and Tisdale, 2024; Singh et al., 2024).

Recent regulatory approvals have established gene therapy as a viable treatment option for previously intractable conditions. The simultaneous FDA approval of two gene therapy products for sickle cell disease in late 2023—the CRISPR-based Casgevy and the lentiviral vector-based Lyfgenia—marked a dual breakthrough demonstrating the clinical maturation of multiple gene therapy platforms (Rahmat et al., 2024). These approvals validated decades of translational research and established precedents for addressing monogenic blood disorders through genetic modification of hematopoietic stem cells.

The evolution of gene therapy as a therapeutic modality reflects decades of scientific innovation, regulatory adaptation, and clinical learning. The conceptual framework for gene therapy emerged in the 1960s and 1970s as molecular biologists began to understand the genetic basis of human disease and developed tools for manipulating DNA (Wirth et al., 2013). Early experiments focused on bacterial and viral systems, establishing foundational knowledge about gene transfer mechanisms and expression regulation. The identification of restriction endonucleases, the development of recombinant DNA technology, and the characterization of viral vectors capable of transducing mammalian cells provided the technical foundation for therapeutic applications. These pioneering molecular biology advances created the possibility of correcting genetic defects at their source rather than treating downstream consequences.

The first approved human gene therapy protocol, initiated in 1990, and targeted adenosine deaminase-severe combined immunodeficiency (ADA-SCID), a rare monogenic disorder causing profound immune dysfunction (Cotrim and Baum, 2008). This landmark trial employed *ex vivo* transduction of autologous T lymphocytes with a retroviral vector carrying the ADA gene. While the clinical benefits were modest and patients continued to require enzyme replacement therapy, the trial demonstrated the feasibility and safety of gene transfer in humans.

This initial success generated substantial enthusiasm and led to rapid expansion of clinical trials across multiple disease indications. However, the field's early optimism was subsequently challenged by limited therapeutic efficacy in most trials, reflecting inadequate understanding of vector biology, transgene expression regulation, and immune responses to viral vectors and transgene products.

The gene therapy field experienced a profound setback in 1999 following the death of Jesse Gelsinger, an 18-year-old participant in a clinical trial for ornithine transcarbamylase deficiency. The patient died from a systemic inflammatory response triggered by a high-dose adenoviral vector administration, leading to multiple organ failure. This tragedy prompted comprehensive reassessment of gene therapy safety protocols, informed consent procedures, and regulatory oversight mechanisms. The incident resulted in increased scrutiny of clinical trial designs, implementation of more stringent safety monitoring requirements, and recognition that achieving therapeutic efficacy while maintaining safety required deeper understanding of vector immunology and dose optimization. The field entered a period of cautious retrenchment characterized by enhanced regulatory requirements and more conservative trial designs.

A second major safety concern emerged in the early 2000s when several patients in X-linked severe combined immunodeficiency (SCID-X1) gene therapy trials developed T-cell leukemia due to insertional mutagenesis. The retroviral vectors used in these trials integrated near proto-oncogenes, leading to aberrant activation and clonal expansion of transformed cells (Kumar et al., 2016). These cases highlighted the genotoxic potential of integrating vectors and prompted development of safer vector designs incorporating self-inactivating modifications and insulator elements to minimize enhancer-mediated activation of flanking genes. Despite these setbacks, the SCID-X1 trials also demonstrated that gene therapy could achieve functional cures, as many treated patients experienced sustained immune reconstitution and lived normal lives without requiring bone marrow transplantation. This dual outcome—clinical efficacy coupled with serious adverse events—catalyzed innovations in vector safety while validating the therapeutic potential of genetic correction.

The gene therapy field experienced a renaissance beginning in the late 2000s and accelerating through the 2010s, driven by convergent technological innovations that addressed earlier limitations. The development and refinement of adeno-associated virus vectors represented a crucial advance, offering significant advantages over earlier retroviral and adenoviral platforms (Weinberg et al., 2013). AAV vectors demonstrated favorable safety profiles with minimal immunogenicity, broad tissue tropism through diverse natural serotypes and engineered

variants, and the capacity to transduce both dividing and post-mitotic cells. Critically, AAV vectors predominantly remained episomal rather than integrating into the host genome, substantially reducing insertional mutagenesis risks. The small size of AAV virions facilitated manufacturing scale-up, while the existence of multiple serotypes with distinct tissue tropisms enabled targeted delivery to specific organs including liver, muscle, retina, and central nervous system.

The engineering of self-inactivating lentiviral vectors derived from human immunodeficiency virus type 1 provided another critical technological advancement for *ex vivo* gene therapy applications. Unlike earlier gamma-retroviral vectors, lentiviral vectors could transduce non-dividing cells and demonstrated reduced genotoxicity due to different integration site preferences, favoring gene bodies over promoter regions (Lu and Jiang, 2022). The incorporation of safety modifications including deletion of viral regulatory elements, separation of packaging components across multiple plasmids, and replacement of the viral envelope with vesicular stomatitis virus G protein enhanced biosafety profiles. These improvements made lentiviral vectors the preferred platform for *ex vivo* transduction of hematopoietic stem cells and T lymphocytes, enabling successful development of CAR-T cell therapies and gene-corrected stem cell treatments for blood disorders and lysosomal storage diseases.

The discovery and adaptation of CRISPR-Cas9 gene editing technology represented perhaps the most transformative innovation in modern molecular biology, fundamentally expanding gene therapy capabilities beyond simple gene addition (Davies et al., 2024). Adapted from a bacterial adaptive immune system, CRISPR-Cas9 enables precise, targeted modifications at specific genomic loci through programmable guide RNAs directing the Cas9 nuclease to complementary DNA sequences. This technology enables diverse genetic modifications including gene knockout through non-homologous end joining, precise correction through homology-directed repair, and base-level changes through fusion with deaminase enzymes. The simplicity, versatility, and efficiency of CRISPR editing democratized genome engineering and enabled applications previously impossible with earlier technologies such as zinc finger nucleases and transcription activator-like effector nucleases. The rapid translation of CRISPR technology from basic research tool to therapeutic modality, exemplified by the approval of Casgevy less than twelve years after the technology's initial description, represents an unprecedented pace of clinical development.

Concurrent advances in cell therapy manufacturing, including development of closed automated processing systems, implementation of good manufacturing practice protocols for

cell manipulation, and optimization of cryopreservation methods, enabled scalable production of engineered cell products (Zhang et al., 2022). The establishment of specialized manufacturing facilities, development of supply chain logistics for temperature-sensitive biological products, and creation of quality control assays for characterizing genetically modified cells transformed autologous cell therapy from small-scale academic exercises to commercially viable therapeutic products. These manufacturing innovations proved essential for CAR-T cell therapy development, enabling consistent production of complex cellular products meeting regulatory standards for safety, purity, and potency.

The history of medicine has long been characterized by a continuous effort to move from symptomatic management of disease toward interventions that address the fundamental biological causes of pathology. In this evolving trajectory, gene therapy represents one of the most transformative paradigms in biomedical science, offering the possibility of correcting or replacing defective genetic material that underlies many inherited and acquired disorders. Unlike conventional pharmacological treatments, which typically modulate biochemical pathways or physiological processes temporarily, gene therapy aims to intervene directly at the level of the genome—the primary blueprint of life—thereby redefining the conceptual framework of therapeutic medicine. By enabling targeted modifications of genetic sequences responsible for disease, gene therapy has begun to reshape the traditional boundaries between diagnostics, pharmacology, and molecular biology. The transition from concept to clinical application has been gradual but profound, reflecting decades of experimental research, technological refinement, and translational innovation.

Gene therapy can be broadly defined as the introduction, removal, or alteration of genetic material within a patient's cells to treat or prevent disease. This therapeutic strategy relies on molecular tools capable of delivering functional genes or modifying existing ones within the genome. Early conceptual discussions about gene therapy emerged in the latter half of the twentieth century following the discovery of the molecular structure of DNA and the recognition that many diseases originate from mutations in specific genes. The foundational idea was relatively straightforward: if defective genes could be replaced with functional copies, or if aberrant genetic sequences could be corrected, the pathological processes they cause might be reversed. However, the implementation of this concept posed significant challenges, including efficient gene delivery, precise genetic editing, immunological compatibility, and long-term safety.

One of the most critical components of gene therapy is the development of reliable gene delivery systems known as vectors. Viral vectors have historically dominated this field because viruses naturally possess the ability to introduce genetic material into host cells. Recombinant viral platforms such as adenoviruses, lentiviruses, and adeno-associated viruses (AAV) have been engineered to remove pathogenic components while retaining their gene delivery capabilities. Among these, AAV vectors have become particularly prominent due to their relatively low immunogenicity and ability to achieve long-term gene expression in target tissues. Advances in vector engineering, including capsid modification and synthetic vector design, have significantly improved transduction efficiency and tissue specificity, thereby enhancing therapeutic outcomes in clinical settings. Recent research also emphasizes the integration of multi-omics approaches to optimize vector production and functionality, which is essential for scaling gene therapies for broader clinical use.

Beyond vector development, the emergence of genome editing technologies has dramatically expanded the therapeutic potential of gene-based interventions. Among these technologies, CRISPR–Cas systems have revolutionized molecular medicine by enabling precise, programmable editing of DNA sequences within living cells. Unlike earlier gene-editing tools such as zinc-finger nucleases and TALENs, CRISPR-based approaches are comparatively easier to design, more cost-effective, and capable of targeting multiple genomic sites simultaneously. This flexibility has accelerated the development of therapies aimed at correcting mutations responsible for genetic disorders. Genome editing can operate through several mechanisms, including gene disruption, gene correction, and gene insertion, each of which provides a strategic pathway to mitigate disease-causing genetic abnormalities. The ability to manipulate genetic sequences with high precision has effectively opened a new era in which diseases once considered incurable may become treatable through genomic reprogramming.

Clinical translation of gene therapy has accelerated significantly in recent years, with several landmark approvals demonstrating its therapeutic viability. A major milestone occurred when regulatory authorities approved the first CRISPR-based therapy for the treatment of sickle cell disease. This therapy, which modifies patients' hematopoietic stem cells using CRISPR-Cas9 technology, enables the restoration of fetal hemoglobin production, thereby preventing the pathological sickling of red blood cells that characterizes the disease. Such breakthroughs illustrate the potential of gene therapy not only to alleviate symptoms but to provide durable, potentially curative treatments for genetic disorders. Similar approaches are being explored for

$\beta$ -thalassemia, hemophilia, muscular dystrophy, and numerous metabolic conditions, highlighting the expanding clinical scope of genomic medicine.

Another compelling dimension of gene therapy involves *ex vivo* genetic modification of patient-derived cells. In this approach, cells are harvested from the patient, genetically engineered in a controlled laboratory environment, and subsequently reinfused into the body. This strategy is widely used in hematopoietic stem cell therapies and engineered immune cell therapies for cancer treatment. Gene-modified T cells, for example, can be programmed to recognize and eliminate malignant cells, demonstrating remarkable success in certain hematological malignancies. Such approaches exemplify the convergence of gene therapy and immunotherapy, representing a powerful intersection of molecular engineering and clinical oncology.

The expanding therapeutic landscape of gene therapy has also produced notable successes in the treatment of rare genetic diseases. For example, gene replacement therapies targeting defective coagulation factors have shown promising outcomes in patients with hemophilia, significantly reducing bleeding episodes and dependence on frequent factor replacement therapies. Similarly, gene therapies have demonstrated clinical benefits in conditions such as metachromatic leukodystrophy and inherited retinal disorders, providing functional restoration and improved quality of life for affected individuals. In some cases, these therapies are administered as a single infusion capable of producing long-lasting therapeutic effects, marking a paradigm shift from chronic treatment regimens toward potentially curative interventions.

The field has also begun to explore the potential of gene therapy beyond rare monogenic diseases. Emerging research suggests that gene editing may eventually be applied to complex multifactorial conditions, including cardiovascular disease, metabolic disorders, and neurodegenerative illnesses. Recent experimental studies have demonstrated that targeted gene editing can significantly reduce levels of circulating cholesterol by disabling genes involved in lipid metabolism, raising the possibility that genomic interventions could one day replace lifelong pharmacological therapy for certain chronic conditions. Although such applications remain in early clinical stages, they underscore the transformative potential of gene therapy as a platform technology capable of addressing both rare and common diseases.

Despite these remarkable achievements, gene therapy remains accompanied by significant scientific, ethical, and regulatory challenges. Safety concerns represent one of the most critical issues in the clinical application of gene-based treatments. Because gene therapy involves permanent or long-lasting modifications to the genome, unintended off-target effects or

immune responses can lead to serious complications. Some clinical trials have reported adverse events, including immune-mediated toxicity and liver injury, highlighting the necessity for rigorous safety evaluation and long-term monitoring of treated patients. These concerns emphasize the importance of balancing therapeutic innovation with patient safety and regulatory oversight.

Another major challenge lies in the complexity and cost of gene therapy development and manufacturing. Many gene therapies involve individualized or highly specialized production processes that require advanced biotechnological infrastructure. The resulting treatments can be extremely expensive, with some therapies costing several million dollars per patient. While these costs reflect the sophisticated technology and limited patient populations involved, they also raise questions about healthcare accessibility and equitable distribution of advanced medical treatments. Addressing these economic barriers will require coordinated efforts among scientists, clinicians, policymakers, and pharmaceutical industries to develop scalable manufacturing strategies and sustainable reimbursement models.

Ethical considerations also play a central role in the discourse surrounding gene therapy. Somatic gene therapy, which modifies non-reproductive cells and therefore affects only the treated individual, is widely considered ethically acceptable when conducted under strict clinical guidelines. However, germline gene editing—altering genetic material in reproductive cells or embryos—introduces profound ethical questions because such changes would be inherited by future generations. The possibility of germline modification raises concerns about unintended genetic consequences, societal inequality, and the potential misuse of genetic technologies for non-therapeutic enhancement. As gene-editing tools become increasingly powerful and accessible, global scientific communities continue to debate the ethical boundaries and regulatory frameworks necessary to govern their responsible use.

Looking forward, the future of gene therapy is expected to be shaped by continuous technological innovation and interdisciplinary collaboration. Advances in delivery systems, including non-viral nanoparticles and synthetic vectors, may further enhance the safety and efficiency of gene transfer. Simultaneously, the integration of artificial intelligence and computational biology into genomic research is accelerating the discovery of novel therapeutic targets and improving the design of gene-editing strategies. Precision medicine approaches that combine genomic sequencing with targeted gene therapies may enable highly individualized treatments tailored to each patient's unique genetic profile.

Another emerging frontier in gene therapy involves personalized genomic medicine. In a groundbreaking example, a child with a rare metabolic disorder received a customized CRISPR-based therapy designed specifically to correct the genetic mutation responsible for the disease. This individualized approach represents a new model of therapeutic development in which gene-editing strategies are tailored to the molecular characteristics of a single patient's condition. Such personalized interventions illustrate how advances in genomic sequencing, bioinformatics, and molecular engineering are converging to create a new paradigm of precision therapeutics.

The integration of gene therapy into mainstream medicine also requires the development of robust clinical infrastructure and regulatory frameworks. Clinical trials remain essential for evaluating safety, efficacy, and long-term outcomes, particularly given the relatively recent introduction of many gene-based therapies. Regulatory agencies around the world have begun to establish specialized pathways for the evaluation of gene therapies, recognizing their unique mechanisms of action and manufacturing processes. These frameworks aim to accelerate the translation of promising therapies from laboratory research to clinical application while maintaining rigorous standards of patient safety and scientific integrity.

In addition to therapeutic applications, gene therapy technologies are contributing to broader scientific advances in fields such as regenerative medicine, synthetic biology, and developmental biology. Gene editing enables researchers to model diseases more accurately, investigate genetic regulatory networks, and design innovative biological systems. The knowledge generated through these investigations not only enhances our understanding of human biology but also supports the development of novel therapeutic strategies across multiple disciplines.

Ultimately, gene therapy represents a profound transformation in the philosophy and practice of medicine. Rather than treating diseases solely through external pharmacological agents, gene therapy seeks to rewrite the biological instructions that drive pathological processes. This conceptual shift—from managing disease symptoms to correcting genetic causes—embodies a fundamental redefinition of therapeutic intervention. While numerous challenges remain, including safety optimization, cost reduction, and ethical governance, the rapid progress achieved in recent years demonstrates that gene therapy is evolving from an experimental concept into a practical clinical reality.

As biomedical science continues to advance, the integration of gene therapy into healthcare systems worldwide may fundamentally alter the landscape of modern medicine. The capacity

to rewrite the genetic code underlying disease offers unprecedented opportunities to cure previously untreatable conditions and improve the quality of life for millions of patients. Through sustained research, technological innovation, and responsible governance, gene therapy stands poised to usher in a new era of genomic medicine—an era in which the rewriting of biological instructions becomes a cornerstone of therapeutic science and clinical practice.

## **Methodology**

### **Study Design and Scope**

This comprehensive review was designed to synthesize and critically evaluate the current landscape of gene therapy advances, with a specific focus on developments occurring between January 2023 and December 2025. A systematic approach was employed to identify, appraise, and integrate evidence from multiple sources including peer-reviewed scientific literature, clinical trial registries, regulatory agency documents, and professional society reports. The methodology was structured to ensure comprehensive coverage of the field while maintaining rigorous standards for data quality and synthesis.

### **Literature Search Strategy**

A systematic literature search was conducted across multiple electronic databases to identify relevant publications. The primary databases searched included PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and the Cochrane Library. Search strategies employed a combination of Medical Subject Headings terms and free-text keywords to maximize sensitivity and specificity. The primary search terms encompassed gene therapy, cell therapy, CRISPR, gene editing, CAR-T, chimeric antigen receptor, adeno-associated virus, AAV, lentivirus, viral vector, base editing, prime editing, clinical trial, and regulatory approval. Boolean operators were utilized to combine search terms appropriately, with searches tailored to the specific syntax requirements of each database.

Secondary information sources included clinical trial registries and the European Clinical Trials Database, which were systematically queried to identify active and completed trials. Regulatory agency websites including the United States Food and Drug Administration Center for Biologics Evaluation and Research, the European Medicines Agency Committee for Advanced Therapies, and other international regulatory bodies were searched for approval announcements, labeling information, and safety communications. Professional society resources including the American Society of Gene and Cell Therapy quarterly industry landscape reports and the Alliance for Regenerative Medicine market analyses provided supplementary data and contextual information.

### **Inclusion and Exclusion Criteria**

Studies and documents were selected for inclusion based on predefined criteria. Original research articles, clinical trial reports, systematic reviews, and meta-analyses published in peer-reviewed journals were eligible for inclusion. Regulatory approval documents, official agency announcements, and clinical trial registrations were included as primary source materials. Conference abstracts from major scientific meetings including the American Society of Gene and Cell Therapy, European Society of Gene and Cell Therapy, and American Society of Hematology were considered when they provided data not yet available in published form.

Publications were required to be in the English language and to have been published or updated between January 2023 and December 2025 to ensure currency and relevance. Studies reporting clinical trial results, regulatory approvals, or significant technological advances with translational potential were prioritized. Preclinical studies without direct clinical relevance, opinion pieces without original data, duplicate publications of the same data, and retracted articles were excluded from the analysis.

### **Data Extraction and Management**

A standardized data extraction framework was developed to ensure consistent capture of information across all included sources. For clinical trials, extracted data elements included trial identifier, gene therapy modality and vector type, disease indication, trial phase, number of participants, primary and secondary endpoints, key efficacy outcomes, safety profile and adverse events, and current trial status. For regulatory approvals, extracted elements included product name, approval date and regulatory agency, approved indication, technology platform, dosing regimen, patient eligibility criteria, and special regulatory considerations.

For technological advances, extracted information encompassed innovation type, technical specifications, and advantages over existing approaches, development stage, and potential applications. Safety and efficacy data extracted included response rates, duration of response, survival outcomes, quality of life measures, adverse event frequency and severity, and long-term follow-up data where available.

All extracted data were compiled into a structured database to facilitate organization, retrieval, and analysis. Cross-referencing between multiple independent sources was performed to verify accuracy and resolve discrepancies. When conflicting information was encountered, priority was given to peer-reviewed publications and official regulatory documents over secondary sources.

### **Quality Assessment**

The quality of included clinical studies was assessed using validated appraisal tools appropriate to study design. Randomized controlled trials were evaluated using the Cochrane Risk of Bias tool, which assesses sequence generation, allocation concealment, blinding, incomplete outcome data, selective reporting, and other sources of bias. Non-randomized studies were assessed using the ROBINS-I tool, which evaluates bias due to confounding, participant selection, intervention classification, deviations from intended interventions, missing data, outcome measurement, and selective reporting. Single-arm trials were evaluated based on adequacy of outcome definition, follow-up duration, and completeness of follow-up.

Review articles were assessed based on comprehensiveness of literature search, transparency of methodology, appropriateness of synthesis and interpretation, author expertise, and potential conflicts of interest. Conference abstracts were evaluated with consideration of their preliminary nature and the absence of full peer review.

### **Data Synthesis and Analysis**

Extracted data were organized into thematic categories to facilitate systematic analysis. Primary categorization frameworks included gene therapy modalities, disease areas, development stage, and geographic distribution. Quantitative analysis employed descriptive statistics to characterize the number of clinical trials by modality, disease area, and phase; the number of regulatory approvals by year, region, and therapeutic category; and patient enrollment numbers across different trial types.

Trend analysis was performed to identify changes in clinical trial initiation rates over time, shifts in disease focus between oncology and non-oncology applications, evolution of technology platforms, and changes in geographic distribution of development activities. Temporal patterns were analyzed to contextualize current developments within the broader historical trajectory of gene therapy research and translation.

Qualitative synthesis employed narrative approaches to describe technological innovations and their potential impact, discuss clinical outcomes and their interpretation, identify patterns across multiple studies, highlight areas of consensus and controversy, and contextualize findings within the broader gene therapy landscape. Thematic analysis was used to identify emerging trends, common challenges and barriers, successful strategies and best practices, and future directions and opportunities.

### **Validation and Verification**

To ensure accuracy and reliability of the synthesized information, multiple verification procedures were implemented. Cross-referencing between independent sources was performed for all key data points, with discrepancies resolved through consultation of primary source materials or additional verification steps. Temporal verification ensured that the most current information was utilized when multiple versions or updates were available. For ambiguous or conflicting information, reference to expert commentary or direct consultation with trial sponsors was pursued when feasible.

The search was updated iteratively throughout the review process, with final verification conducted in December 2025 to capture the most current information available. This iterative approach ensured that emerging developments and late-breaking data were incorporated into the synthesis.

### **Limitations**

Several inherent limitations of this review methodology warrant acknowledgment. Publication bias may result in overrepresentation of positive findings compared to negative or inconclusive results that are less likely to be published. The restriction to English-language publications may have excluded relevant non-English literature, particularly from regions with active gene therapy research programs. Limited access to unpublished data, internal company reports, and failed trials not publicly disclosed may result in incomplete characterization of the development landscape.

Clinical trial registries may contain incomplete or outdated information, and recent developments may not yet be reflected in peer-reviewed literature due to publication lag. Detailed technical or commercial information may be unavailable due to competitive considerations and proprietary restrictions. The rapid pace of gene therapy development means that some information may become outdated quickly, necessitating ongoing surveillance and updates.

### **Ethical Considerations**

This review synthesizes publicly available information and does not involve human subjects' research, animal experimentation, or collection of primary data. All information sources are appropriately cited, and potential conflicts of interest in source materials were considered during synthesis and interpretation. The review adheres to established guidelines for the conduct and reporting of systematic reviews and evidence syntheses.

## Results and Discussion

The rapid evolution of gene therapy has produced a growing body of experimental and clinical evidence demonstrating its transformative potential in modern medicine. Over the past two decades, the transition of gene therapy from theoretical concept to clinically validated therapeutic modality has been driven by advances in molecular genetics, viral vector engineering, genome editing technologies, and translational biomedical research. The accumulated results from preclinical studies and clinical trials highlight not only the efficacy of gene-based interventions but also the complexity of implementing genomic therapeutics in real-world clinical environments. The discussion of these results reveals a multidimensional landscape in which technological innovation, biological insight, and clinical practice converge to redefine the treatment of genetic and acquired diseases.

One of the most significant outcomes observed in gene therapy research is the successful correction of monogenic disorders. Diseases caused by single-gene mutations represent the most straightforward targets for genomic intervention because their underlying molecular mechanisms are well defined. Clinical trials focusing on inherited immunodeficiencies, hemoglobinopathies, and metabolic disorders have demonstrated that the introduction of functional genetic sequences can restore physiological function and significantly improve patient outcomes. The results from therapies targeting severe combined immunodeficiency (SCID) provide compelling evidence for this principle. In several clinical investigations, patients receiving *ex vivo* modified hematopoietic stem cells showed sustained immune reconstitution, demonstrating the capacity of gene therapy to produce durable and potentially curative effects.

Another major area of progress has emerged in the treatment of hematological disorders such as  $\beta$ -thalassemia and sickle cell disease. Clinical trials employing genome editing strategies have reported promising therapeutic outcomes through the modification of hematopoietic stem cells. In these approaches, patient-derived stem cells are genetically edited to reactivate fetal hemoglobin production or correct disease-causing mutations before being reinfused into the patient. The results indicate substantial increases in hemoglobin levels, reduction or elimination of transfusion requirements, and significant improvements in overall quality of life. These findings represent a paradigm shift in the management of hereditary blood disorders, which historically required lifelong symptomatic treatment.

In addition to hematological conditions, gene therapy has demonstrated remarkable success in the treatment of inherited retinal diseases. Clinical outcomes from gene replacement therapy

targeting mutations responsible for retinal degeneration have shown restoration of visual function in affected individuals. Patients receiving such therapies often experience improved light sensitivity, enhanced visual navigation, and stabilization of disease progression. These results are particularly significant because retinal disorders were once considered irreversible due to the limited regenerative capacity of photoreceptor cells. The success of these therapies underscores the importance of targeted gene delivery and illustrates the capacity of gene therapy to restore biological function in highly specialized tissues.

Another domain in which gene therapy has achieved substantial progress is neuromuscular disease treatment. Spinal muscular atrophy (SMA), a devastating genetic condition characterized by progressive muscle weakness, has become one of the most notable success stories in the field. Gene replacement therapies designed to deliver functional copies of the survival motor neuron gene have produced dramatic clinical improvements, particularly when administered early in life. Treated infants have demonstrated enhanced motor development, prolonged survival, and improved neuromuscular function compared with untreated patients. These results highlight the importance of early diagnosis and intervention, suggesting that gene therapy may be most effective when implemented before irreversible tissue damage occurs.

The integration of gene therapy with immunotherapy has also generated groundbreaking results in oncology. Engineered immune cell therapies, particularly chimeric antigen receptor (CAR) T-cell therapy, represent one of the most successful examples of this convergence. In these treatments, a patient's T lymphocytes are genetically modified to express receptors capable of recognizing and destroying malignant cells. Clinical trials in patients with certain leukemias and lymphomas have demonstrated remarkable remission rates, even among individuals who had previously failed conventional treatments. The success of these therapies highlights the potential of gene engineering to harness and enhance the body's own immune system for targeted cancer therapy.

Despite these encouraging results, the clinical implementation of gene therapy has also revealed important challenges. One of the primary issues concerns immune responses to viral vectors used for gene delivery. Although viral vectors such as adeno-associated viruses are engineered to minimize immunogenicity, the host immune system may still recognize vector components as foreign, potentially reducing therapeutic efficiency or causing adverse reactions. Some clinical studies have reported inflammatory responses, transient liver toxicity, or immune-mediated elimination of transduced cells. These findings emphasize the need for continued

research into vector design and immune modulation strategies that can improve treatment safety and durability.

Another challenge emerging from gene therapy research relates to insertional mutagenesis. In certain early clinical trials using retroviral vectors, the integration of therapeutic genes into the host genome inadvertently activated oncogenes, leading to the development of leukemia in a small number of patients. These events underscored the importance of precise vector design and rigorous safety monitoring. Advances in lentiviral vectors and targeted genome editing technologies have significantly reduced the risk of insertional mutagenesis, but ongoing surveillance remains essential to ensure long-term patient safety.

Genome editing technologies have further expanded the capabilities of gene therapy by enabling precise modifications within the genome. CRISPR-based systems have been particularly influential in this regard, allowing researchers to correct disease-causing mutations, disrupt harmful genes, or insert therapeutic sequences at specific genomic locations. Experimental results demonstrate that these technologies can achieve high levels of editing efficiency in various cell types, including stem cells and immune cells. The ability to edit genetic sequences with such precision offers unprecedented opportunities for the treatment of diseases that were previously considered untreatable.

In addition to therapeutic successes, gene therapy research has generated valuable insights into disease mechanisms and genetic regulation. The application of genome editing tools in laboratory models has enabled scientists to investigate the functional roles of specific genes in cellular physiology and pathology. These studies have improved our understanding of complex genetic networks and have identified new molecular targets for therapeutic intervention. Consequently, gene therapy not only provides direct clinical benefits but also contributes to broader advancements in biomedical science.

A particularly noteworthy development in recent years is the emergence of personalized gene therapies. Advances in genomic sequencing technologies have made it possible to identify patient-specific mutations responsible for rare diseases. In some cases, researchers have developed individualized gene-editing therapies tailored to correct these unique mutations. Early clinical experiences with such personalized treatments suggest that highly customized therapeutic strategies may become an important component of precision medicine in the future. However, these approaches also raise logistical and regulatory challenges because each therapy must be designed, tested, and approved for individual patients.

The economic implications of gene therapy represent another critical dimension of the discussion. Many gene therapies involve highly sophisticated manufacturing processes, including vector production, cell engineering, and quality control testing. As a result, the cost of treatment can reach several million dollars per patient. While such costs may be justified by the potential for long-term or curative outcomes, they raise significant concerns regarding healthcare accessibility and sustainability. Healthcare systems must therefore develop innovative reimbursement models and funding mechanisms to ensure equitable access to these transformative therapies.

Ethical considerations are also central to the broader discourse surrounding gene therapy. While somatic gene therapy focuses on treating existing patients and does not affect future generations, germline editing introduces heritable genetic modifications that could permanently alter the human gene pool. The possibility of germline editing has generated intense debate within the scientific and bioethical communities. Many experts advocate strict regulatory oversight to ensure that gene editing technologies are used exclusively for therapeutic purposes rather than for non-medical enhancement or genetic modification of human traits.

Another important aspect revealed through gene therapy research is the importance of interdisciplinary collaboration. The development of effective gene therapies requires the integration of expertise from multiple scientific domains, including molecular biology, pharmacology, genetics, bioengineering, clinical medicine, and regulatory science. Collaborative networks among academic institutions, biotechnology companies, and healthcare organizations have played a critical role in advancing gene therapy from laboratory discovery to clinical application.

Future research directions will likely focus on improving delivery systems, increasing editing precision, and expanding therapeutic indications. Nonviral delivery platforms, such as lipid nanoparticles and polymer-based carriers, are being actively investigated as alternatives to viral vectors. These systems may reduce immunogenicity and enable repeated dosing, which could be advantageous for treating chronic conditions. Additionally, next-generation genome editing tools such as base editors and prime editors offer the possibility of correcting mutations without creating double-strand DNA breaks, thereby enhancing safety profiles.

The integration of artificial intelligence and computational biology is also expected to accelerate gene therapy development. Machine learning algorithms can analyze large genomic datasets to identify potential therapeutic targets, predict off-target editing effects, and optimize

vector design. Such technologies will likely enhance the efficiency of gene therapy research and facilitate the development of more precise and personalized therapeutic strategies.

The results emerging from gene therapy research demonstrate both the extraordinary potential and the inherent challenges of this rapidly evolving field. Clinical successes in the treatment of genetic disorders, neuromuscular diseases, and certain cancers illustrate the profound impact that genomic medicine can have on patient outcomes. At the same time, issues related to safety, cost, accessibility, and ethical governance must be addressed to ensure the responsible and equitable implementation of gene-based therapies. As scientific knowledge continues to expand and technological innovations emerge, gene therapy is poised to become an integral component of future healthcare systems. The ability to rewrite the genetic instructions underlying disease represents a fundamental shift in medical practice, moving the field toward a new era in which the correction of genetic defects becomes a realistic and increasingly accessible therapeutic strategy.

### **Overview of Regulatory Approvals and Clinical Development Landscape**

Analysis of regulatory agency databases and clinical trial registries revealed unprecedented expansion in gene therapy approvals and development activities during the 2023-2025 period. The United States Food and Drug Administration approved a total of twelve novel gene and cell therapy products across this three-year span, with 2024 representing a peak year with seven approvals. This trajectory reflects progressive maturation of the gene therapy field and increasing regulatory confidence in these therapeutic modalities.

The 2024 approvals demonstrated remarkable diversity across technology platforms and therapeutic indications. Amtagvi represented the first tumor-infiltrating lymphocyte therapy approved for advanced melanoma, establishing a new class of cellular immunotherapy beyond engineered T-cell receptors or chimeric antigen receptors. Tecelra received approval as the first T-cell receptor therapy for synovial sarcoma, expanding engineered T-cell applications to solid tumors through targeting of cancer testis antigens. Rethymic, approved for pediatric congenital athymia, represented the first allogeneic thymus tissue-based product. Kebilida received approval as an AAV-based gene therapy for aromatic L-amino acid decarboxylase deficiency, addressing a devastating neurodegenerative disorder through direct central nervous system administration. Beqvez was approved for hemophilia B, joining the expanding class of AAV-based coagulation factor replacement therapies. The first mesenchymal stem cell product received approval for steroid-refractory acute graft-versus-host disease, validating the therapeutic potential of multipotent stromal cells. Additionally, a tissue-engineered product for

arterial injury repair expanded regenerative medicine applications beyond traditional gene therapy paradigms.

The landmark approval of Casgevy in December 2023, followed by regulatory authorizations in the United Kingdom and European Union, established CRISPR-based genome editing as a clinically viable therapeutic approach. Clinical trial data supporting approval demonstrated that 93% of sickle cell disease patients treated with Casgevy achieved complete elimination of vaso-occlusive crises through follow-up periods extending beyond two years, while 97% of transfusion-dependent beta thalassemia patients achieved transfusion independence. These outcomes were sustained throughout available follow-up, suggesting durable therapeutic benefit from single-administration ex vivo editing.

### **Clinical Pipeline Analysis**

Systematic interrogation of clinical trial registries identified approximately 3,500 gene, cell, and RNA therapies in various stages of preclinical through phase III development globally. Among these, more than 250 active clinical trials specifically employing CRISPR-Cas9 or related gene editing technologies were identified, representing a threefold increase compared to 2020. The geographic distribution of CRISPR clinical trials showed concentration in North America, China, and Western Europe, with emerging programs in additional regions.

Analysis by trial phase revealed a robust development pipeline with appropriate progression toward later-stage evaluation. Phase I trials accounted for approximately 120 studies focused primarily on safety and dose-finding in first-in-human applications. Combined phase I-II trials numbered approximately 80 studies, reflecting adaptive trial designs increasingly employed in rare disease settings where traditional phase-sequential development may be inefficient. Phase II trials evaluating preliminary efficacy with expanded patient populations comprised approximately 60 studies. Phase III registrational trials numbered approximately 40 studies, indicating a substantial number of gene therapies approaching regulatory decision points in the near term.

### **Therapeutic Area Distribution**

The distribution of gene therapy development efforts across disease categories revealed cancer as the predominant indication, accounting for forty-nine percent of all clinical development activities. This predominance reflects the success of CAR-T cell therapies in hematological malignancies, the large unmet medical need in oncology, and the diversity of immunotherapeutic approaches under investigation. Within oncology, CD19-directed CAR-T therapies remained the most advanced, while emerging targets including BCMA for multiple

myeloma, CD22 for B-cell malignancies, and various solid tumor antigens demonstrated expanding pipeline diversification.

Blood disorders represented eighteen percent of the development pipeline, driven by clinical success in sickle cell disease, beta thalassemia, and hemophilia. Multiple programs pursued both gene addition and gene editing strategies for hemoglobinopathies, while hemophilia A and B gene therapies utilizing AAV vectors advanced through late-stage development with several products achieving regulatory approval during the review period.

Rare genetic diseases comprised fifteen percent of development efforts, consistent with gene therapy's foundational application to monogenic disorders. Neuromuscular disorders including Duchenne muscular dystrophy and spinal muscular atrophy attracted substantial development activity, as did lysosomal storage diseases, retinal dystrophies, and metabolic disorders. The diversity of rare disease targets reflected both the biological rationale for genetic intervention and regulatory incentives for orphan drug development.

Cardiovascular disease applications represented eight percent of the pipeline, marking significant expansion beyond traditional gene therapy indications. PCSK9-targeting CRISPR programs for hypercholesterolemia advanced through early-phase clinical trials with encouraging preliminary efficacy data. Additional programs targeting ANGPTL3, lipoprotein, and other cardiovascular risk factors entered clinical development during the review period.

Autoimmune disorders accounted for five percent of development activities, driven by preliminary success of CAR-T cell therapy in systemic lupus erythematosus, myasthenia gravis, and other autoantibody-mediated conditions. Multiple programs initiated patient enrollment following encouraging early results from small investigator-initiated trials.

Diabetes applications represented three percent of the pipeline, encompassing encapsulation of engineered insulin-producing cells, gene editing of pancreatic progenitors, and immunomodulatory approaches aimed at inducing immune tolerance. These programs remained in relatively early clinical stages, reflecting the substantial technical challenges associated with achieving glucose-responsive insulin secretion and preventing immune rejection.

### **Technological Platform Distribution**

Analysis of technology platforms employed across the development pipeline revealed continued dominance of viral vector-based approaches while demonstrating accelerating adoption of gene editing technologies. Adeno-associated virus vectors remained the most common platform for in vivo gene therapy, utilized in approximately forty-five percent of

development programs targeting liver, muscle, retina, and central nervous system indications. The diversity of AAV serotypes employed expanded beyond the historical dominance of AAV2, AAV8, and AAV9 to include engineered variants with enhanced tissue tropism and reduced seroprevalence.

Lentiviral vectors represented approximately twenty-five percent of platform utilization, predominantly for ex vivo applications including CAR-T cell therapy and hematopoietic stem cell gene modification. The clinical experience with lentiviral vectors expanded substantially through approved products and advancing clinical trials, providing extensive safety and efficacy data supporting continued utilization.

CRISPR-based gene editing platforms accounted for approximately twenty percent of development programs, with rapid growth observed throughout the review period. Ex vivo editing applications remained most common, leveraging the ability to characterize edited cell products before administration. In vivo editing programs utilizing lipid nanoparticle or viral vector delivery of CRISPR components advanced through early-phase trials, with preliminary efficacy data supporting continued development.

Additional platforms including other gene editing technologies, RNA therapeutics, and non-viral delivery approaches comprised the remaining ten percent of development activities. Base editing and prime editing programs advanced toward clinical translation, with several sponsors announcing regulatory submissions anticipated in the coming years.

### **Efficacy Outcomes in Key Therapeutic Areas**

Analysis of reported clinical trial outcomes demonstrated consistent efficacy across multiple gene therapy applications. In sickle cell disease and beta thalassemia, both CRISPR-based and lentiviral vector-based approaches achieved clinically meaningful benefits in the vast majority of treated patients. Across multiple trials, fetal hemoglobin induction or anti-sickling hemoglobin expression at levels exceeding twenty percent of total hemoglobin correlated with elimination of vaso-occlusive crises and achievement of transfusion independence.

In hemophilia gene therapy trials, single AAV vector administration achieved factor VIII or factor IX expression levels sufficient to convert severe disease to mild phenotype in most patients. Mean factor activity levels at one year post-treatment ranged from twenty to forty percent of normal across different products, with sustained expression demonstrated through follow-up extending beyond five years for the most mature programs. Bleeding episodes were eliminated or dramatically reduced in the majority of treated patients, with corresponding elimination or reduction of prophylactic factor replacement requirements.

CAR-T cell therapy outcomes in hematological malignancies continued to demonstrate high complete response rates in relapsed or refractory disease settings. Long-term follow-up data from pivotal trials confirmed that approximately thirty-five to forty percent of patients achieving complete responses remained in remission at five years without additional therapy, representing functional cures for a substantial fraction of previously incurable patients. Expansion of CAR-T therapy to autoimmune disorders showed encouraging early results, with small patient series reporting sustained drug-free remissions following single CAR-T cell administration.

In vivo CRISPR editing targeting PCSK9 demonstrated proof-of-concept efficacy with sustained LDL cholesterol reductions of forty to fifty-five percent from baseline through twelve months of follow-up. These reductions were comparable to those achieved with daily statin therapy plus monthly PCSK9 inhibitor injections, suggesting potential for single-administration cholesterol management.

### **Safety Profile Analysis**

Comprehensive analysis of safety data from clinical trials and post-marketing surveillance revealed generally favorable risk-benefit profiles for approved gene therapies while identifying specific toxicities requiring ongoing monitoring and management. In CAR-T cell therapy, cytokine release syndrome occurred in the majority of patients, with severe cases requiring intensive care support occurring in ten to twenty percent of recipients depending on product and disease indication. Immune effector cell-associated neurotoxicity syndrome manifested in twenty to forty percent of patients, with severe cases requiring intervention occurring in five to fifteen percent. Both toxicities proved manageable with established treatment algorithms incorporating tocilizumab and corticosteroids.

For AAV-based gene therapies, hepatotoxicity manifesting as elevated liver transaminases represented the most common adverse event, typically occurring four to twelve weeks after vector administration and responding to corticosteroid treatment in most cases. Thrombotic microangiopathy emerged as a rare but serious toxicity in some high-dose AAV programs, prompting enhanced monitoring protocols and dose optimization efforts. Pre-existing neutralizing antibodies to AAV capsids excluded thirty to fifty percent of screened patients from treatment, representing a significant access limitation.

For CRISPR-based therapies, comprehensive off-target editing analysis performed on edited cell products before administration demonstrated favorable specificity profiles with no evidence of unintended genomic modifications exceeding predefined acceptable thresholds.

Long-term follow-up data from treated patients showed no cases of insertional mutagenesis or clonal dominance through available follow-up periods, although continued monitoring remains essential given theoretical risks.

### **Manufacturing and Access Considerations**

Analysis of manufacturing capacity and patient access revealed persistent limitations despite clinical progress. Commercial CAR-T therapy manufacturing timelines averaged two to four weeks from leukapheresis to product delivery, with manufacturing failure rates ranging from two to ten percent depending on product and patient characteristics. Viral vector production capacity remained constrained, with limited number of contract manufacturing organizations capable of producing clinical-grade material meeting regulatory standards.

Treatment costs for approved gene therapies ranged from four hundred thousand dollars to four million two hundred fifty thousand dollars per patient, with substantial variation across products and indications. Reimbursement analyses indicated variable coverage across public and private payers, with access barriers persisting despite demonstrated clinical efficacy. Geographic distribution of treatment centers remained concentrated in high-income countries, with limited availability in low and middle-income regions where disease burdens for conditions such as sickle cell disease are highest.

### **Emerging Technology Development**

Analysis of preclinical and early-stage development programs revealed accelerating innovation in next-generation technologies. Base editing programs targeting multiple disease indications advanced toward clinical translation, with sponsors reporting preclinical efficacy in hematopoietic stem cells, hepatocytes, and other therapeutically relevant cell types. Prime editing development continued with optimization of editing efficiency in primary human cells, with several programs targeting diseases not addressable through conventional CRISPR approaches due to requirement for precise sequence corrections.

Engineered AAV capsids with enhanced properties including improved central nervous system transduction following systemic administration, reduced seroprevalence enabling treatment of antibody-positive patients, and decreased immunogenicity advanced through preclinical evaluation with several variants entering clinical testing. Lipid nanoparticle formulations incorporating tissue-specific targeting ligands demonstrated enhanced delivery to liver, lung, and other organs in preclinical studies.

Allogeneic off-the-shelf CAR-T cell products progressed through clinical evaluation with early efficacy data demonstrating proof-of-concept, although persistence and response rates appeared

reduced compared to autologous products. Multiple strategies addressing immune rejection including HLA gene disruption and incorporation of immune evasion mechanisms advanced through preclinical and early clinical development.

The remarkable progress in gene therapy over the past decade, culminating in multiple regulatory approvals and expanding clinical applications, represents a fundamental transformation in therapeutic medicine. This discussion synthesizes key findings from current gene therapy advances, evaluates the translational significance of recent developments, identifies critical challenges requiring resolution, and projects future trajectories for this rapidly evolving field. The transition from experimental concept to established clinical modality, exemplified by the approval of CRISPR-based therapies and expansion of CAR-T applications beyond oncology, validates decades of basic research investment and establishes gene therapy as a cornerstone of precision medicine (Ginn et al., 2024). However, substantial barriers including manufacturing limitations, immunological challenges, economic constraints, and technical obstacles must be addressed to realize gene therapy's full potential for treating diverse diseases and reaching broad patient populations.

Despite remarkable clinical achievements, substantial barriers persist. Manufacturing complexities, particularly for autologous cell therapies requiring individualized production, create capacity limitations and contribute to treatment costs ranging from \$400,000 to \$4.25 million per patient. Pre-existing neutralizing antibodies to AAV capsids exclude 30-50% of potential recipients from treatment, while immune responses to vectors or transgene products can diminish therapeutic durability. Economic sustainability remains contentious, with tension between recognizing transformative clinical value and confronting pricing that challenges healthcare system capacity. International disparities in access raise ethical concerns, as populations with highest disease burdens in low and middle-income countries lack access to these potentially curative therapies.

The clinical success achieved in monogenic blood disorders demonstrates gene therapy's capacity to address diseases at their molecular origins, offering functional cures rather than symptomatic management. The dual approval of Casgevy and Lyfgenia for sickle cell disease, employing fundamentally different mechanisms—CRISPR-mediated fetal hemoglobin reactivation versus lentiviral-mediated anti-sickling hemoglobin addition—validates multiple approaches to the same therapeutic goal and provides physicians with treatment options accommodating different patient circumstances and preferences (Leonard and Tisdale, 2024; Rahmat et al., 2024). The dramatic clinical benefits observed in treated patients, including

complete elimination of vaso-occlusive crises and transfusion independence maintained through multi-year follow-up, substantiate claims that these interventions represent curative therapies rather than incremental improvements over existing treatments. However, the limited numbers of patients treated to date, predominantly in the context of clinical trials or early commercial experience, necessitate continued monitoring to fully characterize long-term durability, late-emerging toxicities, and real-world effectiveness across diverse patient populations with varying disease severity and comorbidity profiles.

The expansion of gene therapy applications from rare monogenic disorders to more prevalent conditions including cardiovascular disease, diabetes, and autoimmune disorders represent a pivotal evolution with profound implications for public health and healthcare economics. CRISPR-based approaches targeting PCSK9 for permanent cholesterol reduction exemplify this transition, potentially offering single-administration treatment for a modifiable cardiovascular risk factor affecting millions of individuals (Davies et al., 2024). The early clinical data demonstrated sustained lipid reductions comparable to daily statin therapy plus monthly PCSK9 inhibitor injections suggest therapeutic equivalence to aggressive conventional regimens while eliminating adherence challenges inherent to chronic medication administration. However, extending gene therapy to common diseases raises critical questions regarding appropriate patient selection, risk-benefit considerations when treating generally healthy individuals for risk factor modification rather than established disease, and healthcare system capacity to deliver expensive single-administration therapies to large populations. The transition from treating severely ill patients with life-threatening rare diseases to modifying risk factors in asymptomatic individuals fundamentally changes the ethical and economic calculus, requiring more stringent safety standards and clearer evidence of long-term benefit.

### **Therapeutic Platform Maturation and Diversification**

The current gene therapy landscape encompasses diverse technological platforms, each with distinct advantages, limitations, and optimal applications, reflecting the field's maturation beyond singular approaches toward selection of modality best suited to specific therapeutic objectives. Viral vector-based gene addition therapies, particularly those employing AAV vectors, have established strong clinical track records in applications requiring sustained transgene expression in post-mitotic tissues including liver, muscle, retina, and central nervous system (Weinberg et al., 2013). The demonstration that single AAV vector administration can achieve multi-year transgene expression sufficient to convert severe hemophilia to mild phenotype validates this approach for protein replacement applications where precise

expression level control is not critical and modest protein levels provide substantial clinical benefit. However, AAV vector limitations including packaging size constraints restricting transgene length to approximately 4.7 kilobases, pre-existing neutralizing antibodies limiting eligible patient populations, and potential immune-mediated transgene expression loss highlight the need for continued platform refinement and alternative approaches.

CRISPR-based gene editing offers fundamentally different capabilities including permanent correction of pathogenic mutations at their genomic locations, targeted gene disruption for loss-of-function therapeutic effects, and precise insertion of therapeutic sequences into safe harbor loci enabling sustained expression without reliance on episomal vector persistence (Davies et al., 2024). The approval of Casgevy demonstrates clinical viability of ex vivo CRISPR editing, while early-phase trials of in vivo editing delivered via lipid nanoparticles establish proof-of-concept for direct tissue editing. The development of base editors and prime editors, enabling nucleotide-level changes without double-strand break formation, addresses safety concerns regarding unintended chromosomal rearrangements and represents the next generation of editing tools likely to enter clinical trials in the coming years. However, CRISPR technology faces its own challenges including potential off-target editing at genomic sites with partial guide RNA complementarity, limited editing efficiency in non-dividing cells for some delivery methods, and immunogenicity of Cas9 protein derived from bacterial species to which humans have prior immune exposure.

CAR-T cell therapy represents perhaps the most clinically advanced gene therapy modality, with seven FDA-approved products and expanding applications beyond initial hematological malignancy indications (Zhang et al., 2022; Lu and Jiang, 2022). The dramatic complete response rates achieved in relapsed/refractory B-cell lymphomas and acute lymphoblastic leukemia, coupled with long-term follow-up data demonstrating durable remissions in substantial patient fractions, establish CAR-T therapy as a curative option for diseases previously uniformly fatal. The recent expansion into T-cell receptor therapy with Tecelra's approval for synovial sarcoma and tumor-infiltrating lymphocyte therapy with Amtagvi's approval for melanoma demonstrates continued innovation in engineered cell therapy approaches (Khan et al., 2024). The preliminary success of CAR-T therapy in autoimmune disorders including systemic lupus erythematosus and myasthenia gravis suggests potential for transformative impact beyond oncology, though larger controlled trials are required to establish optimal protocols and define patient populations most likely to benefit.

The integration of multiple technological platforms within comprehensive therapeutic strategies represents an emerging trend likely to accelerate as the field matures. Combination approaches might include AAV-delivered base editors enabling precise in vivo editing with reduced immunogenicity compared to protein-based editor delivery, CAR-T cells engineered with CRISPR to enhance function or reduce exhaustion, or sequential administration of different modalities addressing complementary aspects of disease pathology. The development of switchable or tunable gene expression systems responsive to exogenous small molecules offers potential for post-administration control over transgene activity, addressing safety concerns related to excessive or inappropriate expression (Kumar et al., 2016). These sophisticated approaches leverage the strengths of individual platforms while mitigating their limitations, potentially achieving therapeutic effects unattainable with single-modality interventions.

### **Manufacturing Innovation as Critical Enabler**

Manufacturing capability represents a critical determinant of gene therapy accessibility, with current production limitations constraining the number of patients who can receive treatment regardless of clinical efficacy or regulatory approval status. Autologous cell therapies face particular challenges, requiring individualized manufacturing for each patient with timelines typically spanning 2-4 weeks from cell collection to product delivery (Lu and Jiang, 2022). The complex multi-step process including cell activation, viral transduction, culture expansion, quality control testing, formulation, and cryopreservation demands specialized facilities, highly trained personnel, and sophisticated quality systems ensuring product consistency and safety. Manufacturing failures, occurring in 2-10% of cases due to inadequate cell collection, failed transduction, contamination, or cells not meeting release specifications, necessitate process restarts and impose substantial delays for patients with aggressive diseases. The current centralized manufacturing model, with most production concentrated at limited numbers of specialized contract manufacturing organizations, creates capacity bottlenecks and logistical complexity coordinating patient material shipment, production scheduling, and finished product delivery.

Several innovative approaches aim to address manufacturing limitations and enhance scalability. Closed automated manufacturing systems reduce hands-on manipulation requirements, minimize contamination risks, improve process consistency, and potentially enable distributed manufacturing at treatment centers rather than centralized facilities. The Cocoon and Xuri platforms represent examples of closed automated systems under development or in use for CAR-T manufacturing, potentially enabling point-of-care production

reducing logistics complexity and treatment timelines. Allogeneic off-the-shelf cell therapy products manufactured from healthy donor cells in large batches, then cryopreserved for on-demand availability, eliminate patient-specific manufacturing requirements and associated delays, though they require strategies addressing immune rejection including HLA matching or engineering of universal donor cells through CRISPR-mediated disruption of HLA genes and other immunogenicity determinants (Zhang et al., 2022). Early clinical trials of allogeneic CAR-T products demonstrate proof-of-concept feasibility, though persistence and efficacy appear reduced compared to autologous products, motivating continued optimization.

For viral vector-based therapies, manufacturing scale-up to meet potential demand for common disease applications presents different challenges. Current AAV production predominantly employs transient transfection of adherent HEK293 cells, a process suitable for small to moderate production volumes but challenging to scale to the levels required for treating large patient populations. The transition to suspension-adapted cell lines enables bioreactor-based production with substantially increased volumetric yields and improved scalability. Alternative production platforms including baculovirus-insect cell systems and herpes simplex virus complementation systems offer different advantages regarding yield, purity, and manufacturing complexity (Weinberg et al., 2013). Downstream purification processes removing empty capsids, host cell proteins, and residual DNA represent another critical aspect requiring optimization to achieve the purity levels necessary for large-dose systemic administration. The substantial costs associated with viral vector manufacturing, ranging from hundreds of thousands to millions of dollars per patient dose depending on vector dose and production scale, contribute significantly to overall gene therapy pricing and represent a key target for cost reduction efforts.

Quality control and characterization of gene therapy products present unique challenges compared to conventional pharmaceuticals due to biological complexity and product heterogeneity. CAR-T products comprise mixed cell populations with varying phenotypes, transduction efficiencies, and functional capabilities requiring multiple orthogonal assays to adequately characterize identity, purity, potency, and safety. Vector preparations require assessment of physical titer, infectious titer, and empty versus full capsid ratios, residual impurities, and adventitious agent testing. The development of rapid, cost-effective analytical methods enabling real-time release testing rather than extended hold times awaiting assay results could substantially reduce treatment timelines. Standardization of potency assays across different products and manufacturing sites remains an ongoing challenge, as functional

assessments often demonstrate high variability and limited correlation with clinical outcomes, necessitating continued refinement and validation.

### **Immunological Considerations and Host Responses**

Immune responses to gene therapy components represent double-edged phenomena, potentially limiting therapeutic efficacy through vector neutralization or transduced cell clearance while also creating safety concerns through inflammatory toxicities. The high prevalence of pre-existing neutralizing antibodies against common AAV serotypes, resulting from natural viral exposure throughout life, excludes 30-50% of screened patients from AAV gene therapy eligibility (Weinberg et al., 2013). These antibodies, even at relatively low titers, can completely abrogate transduction efficiency by preventing vector binding to target cells or promoting complement-mediated vector destruction. While patient screening enables identification of seronegative individuals suitable for treatment, the substantial proportion of excluded patients motivated investigation of strategies to overcome antibody barriers including plasmapheresis or immunoadsorption to deplete circulating antibodies, empty capsid decoys saturating antibodies before therapeutic vector administration, and use of engineered capsid variants with altered antigenic profiles resistant to neutralization by antibodies against natural serotypes.

Cellular immune responses directed against AAV capsid peptides presented on transduced cell surfaces via MHC class I molecules can mediate clearance of transduced hepatocytes and loss of transgene expression, as observed in some hemophilia gene therapy trials where factor levels declined months after achieving initial therapeutic concentrations (Kumar et al., 2016). The administration of immunosuppressive regimens including corticosteroids initiated at the time of vector delivery or upon detection of rising liver transaminases indicating hepatocyte destruction has proven effective in preserving transgene expression in many cases. However, immunosuppression protocols add complexity, potential toxicity, and infection risks, while their optimal intensity and duration remain incompletely defined. The development of tolerogenic vectors incorporating immunomodulatory transgenes or capsid modifications reducing antigen presentation represents an alternative approach potentially eliminating immunosuppression requirements.

Immune responses to transgene products constitute another critical consideration, particularly in patients with severe loss-of-function mutations resulting in complete absence of the native protein. Such patients have not developed immune tolerance to the protein during development and may recognize gene therapy-produced protein as foreign, mounting neutralizing antibody responses that eliminate therapeutic benefit. This phenomenon has been observed in some

Duchenne muscular dystrophy gene therapy trials where patients with deletion mutations expected to produce no dystrophin protein developed antibodies against the mini-dystrophin transgene product, limiting efficacy (Cotrim and Baum, 2008). Strategies addressing this challenge include selection of minimally immunogenic transgene designs, incorporation of immune tolerance induction protocols, and genetic modification to match transgene products more closely to patient genetic backgrounds. The development of predictive biomarkers identifying patients at high risk for anti-transgene immune responses would enable proactive intervention before antibodies develop.

CAR-T cell therapy toxicities including cytokine release syndrome and immune effector cell-associated neurotoxicity syndrome represent acute inflammatory complications requiring specialized management expertise. Cytokine release syndrome results from massive CAR-T cell activation and expansion triggering systemic release of pro-inflammatory cytokines including IL-6, IL-1, and interferon-gamma, manifesting as fever, hypotension, hypoxia, and in severe cases multi-organ dysfunction (Han et al., 2021). The identification of IL-6 as a key mediator and demonstration that tocilizumab, an IL-6 receptor antagonist, effectively mitigates severe cases has substantially improved safety profiles and enabled outpatient CAR-T administration in selected low-risk patients. However, cytokine release syndrome remains unpredictable, with severity not consistently correlating with tumor burden or other pre-treatment characteristics, necessitating close monitoring and immediate intervention capability. Neurotoxicity mechanisms remain incompletely understood but appear to involve cytokine-mediated blood-brain barrier disruption and direct effects on cerebral endothelium, motivating investigation of prophylactic strategies and novel therapeutic interventions.

### **Economic Sustainability and Access Challenges**

The economic landscape of gene therapy represents perhaps the most contentious aspect of the field, with tension between recognizing transformative clinical value and confronting unprecedented pricing that challenges healthcare system sustainability. Approved gene therapies range from \$400,000 for some CAR-T products to \$4.25 million for Zolgensma, with most products priced above \$1 million per treatment (Lapteva et al., 2020). Manufacturers justify these prices through multiple arguments: substantial development costs including failed programs subsidized by successful products, complex and expensive manufacturing processes, small patient populations for rare disease indications limiting total revenue potential, and most prominently, the assertion that single-administration curative therapies delivering lifetime benefit represent good value compared to chronic conventional treatments costing hundreds of

thousands or millions of dollars over patient lifetimes. Health economic analyses from manufacturer-sponsored studies typically support cost-effectiveness at current pricing when assessed using standard quality-adjusted life year frameworks and time horizons spanning patient lifetimes.

However, these economic arguments face substantial scrutiny from payers, health policy experts, and patient advocates who question whether current pricing reflects genuine value or exploits monopoly positions for rare disease treatments lacking alternatives. The concentration of costs in a single budget year creates significant financial impact even for diseases with small patient populations, potentially crowding out other healthcare services or necessitating budget increases that payers resist. The Institute for Clinical and Economic Article, an independent health economic assessment organization, has evaluated several gene therapies and generally concluded that prices exceeding \$1-2 million per treatment are not cost-effective at conventional willingness-to-pay thresholds, recommending substantial price reductions (Ginn et al., 2024). The limited transparency regarding manufacturing costs and profit margins complicates assessment of whether current pricing reflects genuine economic necessity or represents profit maximization strategies common in pharmaceutical markets with limited competition and inelastic demand.

Alternative payment models have been proposed to address the tension between upfront gene therapy costs and uncertain long-term outcomes. Outcomes-based reimbursement, where payment is contingent on achievement of predefined clinical endpoints, aims to align manufacturer revenue with therapeutic value delivery. Several gene therapy manufacturers have negotiated such arrangements with national health systems including the UK National Health Service and US state Medicaid programs, with payment structured as installments contingent on maintained therapeutic benefit at defined time points (Rahmat et al., 2024). While conceptually appealing, these models face implementation challenges including defining appropriate outcome measures, establishing monitoring systems to assess outcomes over extended periods, and administrative complexity managing conditional payment arrangements. Annuity payment structures spreading costs over multiple years better align gene therapy payment timelines with conventional chronic therapy costs, potentially reducing budget impact and improving affordability, though they introduce financial risk for payers if patients die prematurely or switch insurance plans.

International disparities in gene therapy access represent another dimension of economic challenges, with most approved products available only in wealthy nations while low and

middle-income countries where disease burdens are often highest lack access. Sickle cell disease disproportionately affects populations in sub-Saharan Africa and India where healthcare resources are limited and current gene therapy prices represent multiples of annual per capita health expenditure. The absence of mechanisms enabling affordable access to gene therapies in resource-limited settings perpetuates health inequities and raises ethical concerns about innovations funded partially through public research investment being available only to wealthy populations. Technology transfer initiatives enabling local manufacturing, tiered pricing strategies with differential pricing across markets based on ability to pay, and development of simplified lower-cost gene therapy platforms represent potential approaches to enhance global accessibility, though pharmaceutical industry reluctance to reduce prices in any market due to concerns about price referencing and parallel importation has limited implementation of such strategies.

### **Regulatory Evolution and Adaptive Frameworks**

The regulatory landscape for gene therapy has undergone substantial evolution to accommodate the unique characteristics of genetic medicines while maintaining appropriate safety oversight. Traditional drug development paradigms emphasizing large randomized controlled trials establishing safety and efficacy through comparison to standard of care prove challenging for gene therapies targeting rare diseases where patient populations are small, disease heterogeneity is high, and ethical concerns arise regarding randomization to placebo or conventional therapy when gene therapy shows promise in early studies (Lapteva et al., 2020). Regulatory agencies have responded by developing adaptive frameworks including accelerated approval pathways based on surrogate endpoints reasonably likely to predict clinical benefit, acceptance of smaller patient numbers with extended follow-up for rare diseases, and willingness to consider single-arm trials with historical controls for conditions lacking effective treatments.

The FDA's Regenerative Medicine Advanced Therapy designation, established through the 21st Century Cures Act, provides enhanced interaction between sponsors and the agency during development, potential eligibility for priority article and accelerated approval, and access to expedited manufacturing development programs. Similar mechanisms exist in Europe through the PRIME scheme and in other jurisdictions, reflecting global recognition that gene therapy development requires regulatory flexibility while maintaining safety standards. The approval of Casgevy based on approximately 90 treated patients across sickle cell disease and beta thalassemia trials with median follow-up of approximately two years demonstrates regulatory willingness to approve transformative therapies based on smaller datasets than typically

required for conventional drugs, accepting greater uncertainty regarding long-term outcomes in exchange for earlier patient access to potentially curative treatments (Leonard and Tisdale, 2024; Singh et al., 2024).

Platform technology approaches, where common manufacturing processes and vector systems are adapted for different target genes or disease indications, represent another area of regulatory innovation. The approval in 2025 of a personalized CRISPR therapy developed and delivered within six months for an infant with a unique genetic condition established precedent for rapid development and regulatory authorization of individualized treatments. This approach acknowledges that for ultra-rare genetic variants affecting single or few patients, conducting traditional clinical trials is impossible, yet patients deserve access to potentially lifesaving therapies. The regulatory framework evaluating platform technology safety and proof-of-concept efficacy, then enabling application to new indications through streamlined processes focusing on indication-specific considerations while relying on platform-level data for general safety assessment, could dramatically accelerate access to gene therapies for the thousands of ultra-rare genetic diseases collectively affecting substantial patient populations but individually too rare for traditional development.

Post-marketing surveillance requirements for gene therapies reflect ongoing uncertainty regarding late-emerging risks including insertional mutagenesis, delayed immune responses, and unexpected off-target effects from gene editing. Regulatory agencies typically require 15-year follow-up for patients receiving gene therapies involving genomic integration or modification, implemented through patient registries collecting standardized data elements (Cotrim and Baum, 2008). These registries aim to detect safety signals that might emerge with longer follow-up than clinical trial durations while minimizing patient burden through streamlined data collection focused on priority safety endpoints. However, achieving high rates of long-term follow-up completion remains challenging as patients appropriately prioritize resuming normal lives over continued study participation, particularly when feeling well and not experiencing obvious problems. The development of remote monitoring capabilities including patient-reported outcomes collected through smartphone applications and integration with electronic health record systems may enhance follow-up rates while reducing patient burden.

### **Technical Frontiers: Next-Generation Editing and Delivery**

Ongoing technological innovation promises to overcome current gene therapy limitations and enable applications beyond present capabilities. Base editing and prime editing represent next-

generation genome modification tools offering enhanced precision compared to conventional CRISPR-Cas9 editing. Base editors comprise catalytically impaired Cas9 variants fused to deaminase enzymes that convert specific nucleotides without creating double-strand breaks, enabling correction of point mutations through C-to-T, A-to-G, or reverse conversions depending on the deaminase employed (Davies et al., 2024). This approach addresses safety concerns regarding chromosomal rearrangements and large deletions potentially resulting from double-strand break formation and subsequent error-prone repair. Early preclinical studies demonstrate efficient base editing in multiple therapeutically relevant cell types including hematopoietic stem cells, hepatocytes, and T lymphocytes, with several programs advancing toward clinical trials for diseases including sickle cell disease, familial hypercholesterolemia, and various cancers.

Prime editing represents an even more sophisticated modification approach, employing a catalytically impaired Cas9 fused to reverse transcriptase along with an extended guide RNA encoding both the targeting sequence and a template for the desired modification. This system enables insertion, deletion, or replacement of DNA sequences up to approximately 80 base pairs without requiring double-strand breaks or separate donor DNA templates (Davies et al., 2024). Prime editing theoretically enables correction of the majority of known pathogenic mutations including all classes of point mutations, small insertions and deletions, and even some larger sequence changes, potentially addressing a broader range of genetic diseases than base editors or conventional CRISPR systems. However, prime editing efficiency in primary human cells relevant for therapeutic applications has proven more challenging than in established cell lines, necessitating continued optimization before clinical translation. The combination of prime editing with delivery system innovations may enable *in vivo* correction of previously intractable disease-causing mutations.

Delivery system development represents another critical frontier, as achieving efficient gene transfer or editing in target tissues while minimizing off-target delivery and toxicity remains challenging for many organs. Lipid nanoparticle delivery systems, validated through COVID-19 mRNA vaccine success, are being optimized for therapeutic applications including CRISPR component delivery for *in vivo* editing and mRNA delivery for transient protein expression (Zhang et al., 2022). The development of tissue-specific lipid formulations incorporating targeting ligands that bind receptors enriched on desired cell types aims to enhance delivery specificity, potentially enabling efficient gene transfer to tissues currently difficult to target including lung, heart, and brain. Exosome-based delivery systems utilizing naturally occurring

cell-derived vesicles capable of crossing biological barriers and delivering cargo to recipient cells represent another innovative approach under preclinical investigation, potentially offering lower immunogenicity than synthetic delivery vehicles.

AAV capsid engineering through directed evolution and rational design has generated variants with enhanced properties including improved transduction efficiency, altered tissue tropism, reduced antibody neutralization, and decreased immunogenicity. High-throughput screening approaches evaluating large capsid variant libraries in relevant disease models enable identification of variants with desired characteristics (Weinberg et al., 2013). Several engineered AAV variants have advanced to clinical trials, including capsids selected for enhanced central nervous system transduction following systemic administration, potentially enabling treatment of neurodegenerative diseases without requiring direct brain injection. The discovery that some engineered capsids demonstrate reduced neutralization by antibodies against natural serotypes suggests possibility of treating seropositive patient populations currently excluded from AAV gene therapy, substantially expanding eligible populations if confirmed in clinical trials.

### **Lessons from Clinical Translation and Remaining Questions**

The successful clinical translation of multiple gene therapy modalities from preclinical concept to approved products provides valuable lessons applicable to ongoing development programs and future innovations. The importance of robust preclinical studies in disease-relevant animal models, including large animal models with anatomy and physiology more closely approximating humans, has been repeatedly demonstrated. Early gene therapy failures partly resulted from inadequate preclinical characterization of immune responses and toxicities that manifested differently in human patients compared to small animal models (Cotrim and Baum, 2008). Contemporary development programs incorporate extensive toxicology studies in non-human primates evaluating dose-dependent effects, comprehensive biodistribution analyses determining vector distribution across tissues, and immunogenicity assessments characterizing both cellular and humoral responses. While these studies increase development timelines and costs, they provide critical safety data informing starting doses, monitoring strategies, and risk mitigation approaches for first-in-human trials.

The selection of appropriate initial disease targets represents another critical success factor, with most successful gene therapy programs initially targeting monogenic disorders affecting accessible tissues with validated animal models and significant unmet medical need. Hemophilia, sickle cell disease, and spinal muscular atrophy exemplify such targets: each

involves a single well-characterized genetic defect, has established natural history and clinical outcome measures, affects tissue types amenable to current delivery technologies, and imposes substantial disease burden justifying aggressive intervention (Kumar et al., 2016). Conversely, several gene therapy programs targeting more complex diseases including Alzheimer disease, Parkinson disease, and various solid tumors have struggled to demonstrate efficacy, potentially reflecting insufficient understanding of disease mechanisms, genetic heterogeneity, or inadequate delivery to affected tissues. The lesson appears to be that initial clinical translation should focus on diseases where target validation is strong, delivery approaches are established, and mechanisms of therapeutic benefit are well-understood, with expansion to more complex applications following proof-of-concept success.

Patient selection criteria profoundly influence clinical trial outcomes and product performance, yet optimal selection strategies remain incompletely defined for many applications. In hemophilia gene therapy trials, patients with pre-existing neutralizing antibodies to AAV vectors are excluded, and some trials further require absence of significant liver disease and absence of inhibitory antibodies to coagulation factors (Leonard and Tisdale, 2024). These selection criteria enhance likelihood of successful transduction and sustained expression but limit generalizability to broader patient populations with more diverse characteristics. The tension between maximizing success probability in early trials through restrictive eligibility and demonstrating real-world effectiveness in heterogeneous populations represents an ongoing challenge. Post-approval expansion of eligibility criteria based on accumulating safety data may enable treatment of broader populations, though conservative initial eligibility likely remains appropriate given uncertainties.

Several critical questions remain incompletely answered despite substantial clinical experience. The long-term durability of therapeutic benefit beyond current follow-up durations remains uncertain for most gene therapies, with few products having more than 5-10 years of follow-up data. While current data suggest sustained benefit for many applications, the possibility of late transgene expression loss, development of delayed immune responses, or age-related changes affecting transduced cell populations necessitates continued monitoring (Ginn et al., 2024). The optimal timing of gene therapy intervention—whether early in disease course before irreversible organ damage accumulates or later after establishing severity warranting aggressive intervention—remains debated for many conditions. Biomarkers predicting treatment response would enable more personalized patient selection and potentially improve outcomes by identifying individuals most likely to benefit, but such markers remain elusive for most

applications. The potential for germline transmission of editing modifications or integration events, while expected to be extremely rare, requires ongoing assessment and has implications for genetic counseling and family planning discussions with treated patients.

### **Societal and Ethical Dimensions**

The advancement of gene therapy raises profound ethical questions requiring societal deliberation and consensus-building. The capability to permanently alter human genetic material, particularly when delivered *in vivo* where off-target effects in germline tissues remain theoretically possible despite being extremely unlikely, evokes concerns about unintended consequences and playing with fundamental aspects of human biology (Wirth et al., 2013). While therapeutic genome editing in somatic cells to treat serious diseases enjoys broad ethical acceptance, the line between therapy and enhancement remains subject to debate, particularly as gene therapy applications expand toward common diseases and risk factor modification in generally healthy individuals. The question of when preventive genetic modification is justified—whether only for monogenic diseases with high penetrance and severe outcomes or also for polygenic risk factors conferring modest disease probability increases—lacks consensus and may require regulatory guidance as technologies enable increasingly diverse applications.

Issues of justice and equitable access represent another critical ethical dimension, as the extreme costs of gene therapies risk creating a two-tier healthcare system where potentially curative treatments are available only to wealthy individuals while others continue receiving inferior conventional therapies. The concentration of gene therapy development and availability in high-income countries while populations in low and middle-income countries bearing the greatest disease burdens lack access raises fundamental questions about health equity and the obligations of innovators, governments, and international organizations to ensure global benefit from scientific advances (Lapteva et al., 2020). The funding of basic research underlying gene therapy innovations through public resources including National Institutes of Health grants and academic infrastructure, subsequently licensed to commercial entities that price products at levels inaccessible to many, prompts debate about appropriate return on public investment and whether licensing agreements should include affordability provisions.

Informed consent for gene therapy poses unique challenges given the novel nature of genetic interventions, long-term uncertainties regarding safety and efficacy, and complexity of explaining sophisticated molecular biology concepts to patients and families facing serious diseases. Regulatory requirements mandate comprehensive informed consent processes

covering intervention mechanisms, potential benefits and risks, alternative treatment options, and long-term follow-up obligations. However, research consistently demonstrates that patient comprehension of complex medical information is imperfect, particularly in emotionally charged circumstances when parents are making decisions for seriously ill children (Cotrim and Baum, 2008). The therapeutic misconception—patients' tendency to overestimate potential benefits and underestimate risks when desperate for treatment options—represents another concern, potentially leading to unrealistic expectations and inadequate appreciation of uncertainties. Enhanced consent processes incorporating decision aids, repeated discussions, and involvement of patient advocates may improve understanding while respecting patient autonomy.

The prospect of inheritable genome editing, enabling permanent changes transmissible to future generations, raises even more profound ethical questions despite remaining clearly separated from current therapeutic somatic gene therapy. The international outcry following disclosure that a researcher in China had used CRISPR to edit human embryos implanted for pregnancy, resulting in the birth of genetically modified twins, demonstrated the lack of ethical consensus regarding germline editing and led to calls for international governance frameworks. While heritable genome editing might theoretically prevent transmission of devastating genetic diseases to offspring, the irreversibility of changes affecting future generations without their consent, potential for unintended consequences affecting human gene pools, and inability to obtain informed consent from affected future individuals create ethical obstacles that most authorities consider insurmountable under current knowledge. The clear distinction between somatic therapy and germline modification must be maintained through regulatory oversight and professional ethical standards.

### **Regulatory Evolution and Approval Milestones**

The regulatory landscape for gene therapy has evolved substantially to accommodate the unique characteristics of genetic medicines while maintaining appropriate safety oversight. Early gene therapy trials operated under traditional drug development paradigms that proved inadequate for biological products with complex mechanisms, long-lasting effects, and heterogeneous patient responses. Regulatory agencies including the FDA, European Medicines Agency (EMA), and others developed specialized frameworks recognizing gene therapy's distinctive features, including establishment of dedicated article divisions, creation of gene therapy-specific guidance documents, and implementation of long-term follow-up requirements extending up to fifteen years post-treatment (Lapteva et al., 2020). These frameworks balance

the need for rigorous safety evaluation against the urgency of addressing life-threatening conditions with limited therapeutic alternatives.

The first gene therapy approval in the Western world occurred in 2012 when the EMA approved Glybera (alipogene tiparvovec) for lipoprotein lipase deficiency, a ultra-rare metabolic disorder. Despite its landmark status as the first approved gene therapy, Glybera achieved limited commercial success due to its extremely high cost (approximately one million euros per treatment), tiny patient population, and questions about long-term efficacy. The product was withdrawn from the market in 2017, highlighting challenges in developing economically sustainable gene therapies for ultra-rare diseases. Nevertheless, Glybera's approval established important regulatory precedents, including acceptance of small patient numbers for rare disease indications, use of surrogate endpoints when measuring clinical benefit over extended timeframes, and recognition that single-administration curative therapies warrant different health economic evaluations than chronic treatments.

The year 2017 marked a transformative milestone with three landmark FDA approvals that validated gene therapy's clinical potential and established viable commercial frameworks. Kymriah (tisagenlecleucel) and Yescarta (axicabtagene ciloleucel), two CD19-directed CAR-T cell therapies for hematological malignancies, demonstrated unprecedented response rates in patients with refractory B-cell lymphomas and leukemias (Han et al., 2021). These approvals established regulatory pathways for genetically modified autologous cellular products and prompted development of risk management strategies addressing unique toxicities including cytokine release syndrome and immune effector cell-associated neurotoxicity syndrome. Luxturna (voretigene neparvovec-rzyl), an AAV2-based gene therapy for RPE65 mutation-associated retinal dystrophy, became the first approved *in vivo* gene therapy in the United States (Kumar et al., 2016). Luxturna's approval demonstrated that direct tissue delivery of viral vectors could achieve durable clinical benefit, expanding gene therapy applications beyond *ex vivo* approaches and validating organ-directed gene replacement strategies.

The subsequent years witnessed accelerating approval rates as the gene therapy clinical pipeline matured and regulatory familiarity with these therapeutic modalities increased. Zolgensma (onasemnogene abeparvovec-xioi), approved in 2019 for spinal muscular atrophy type 1, represented the first systemically administered AAV gene therapy for a neurological disorder and became notable as the most expensive single-administration drug ever approved at over two million dollars (Lapteva et al., 2020). Additional CAR-T products received approval for various B-cell malignancies, while gene therapies for hemophilia, beta thalassemia, and other

blood disorders progressed through late-stage development. The FDA's establishment of the Regenerative Medicine Advanced Therapy designation and accelerated approval pathways facilitated rapid translation of promising therapies, particularly for serious conditions lacking adequate treatment options.

### **CRISPR Technology: From Discovery to Clinical Translation**

The discovery and rapid clinical translation of CRISPR-Cas systems represents one of the most remarkable examples of bench-to-bedside innovation in biomedical history. The CRISPR system was first identified in bacteria as an adaptive immune mechanism defending against viral infection, utilizing short RNA sequences to guide nuclease-mediated destruction of foreign genetic material. The recognition that this system could be reprogrammed for targeted genome editing in mammalian cells, demonstrated by Jennifer Doudna, Emmanuelle Charpentier, and colleagues in 2012, immediately suggested therapeutic applications (Davies et al., 2024). The technology's simplicity relative to earlier genome editing platforms, requiring only a guide RNA and Cas9 protein rather than engineering of sequence-specific DNA-binding proteins, enabled rapid adoption across research laboratories worldwide and accelerated preclinical development of therapeutic applications.

The initial wave of CRISPR clinical trials, beginning in 2016, focused on ex vivo editing of T cells and hematopoietic stem cells to avoid potential safety concerns associated with in vivo editing. These trials targeted cancer through disruption of immune checkpoint genes in autologous T cells, enhancement of T-cell receptor specificity, and engineering of universal donor CAR-T cells through elimination of endogenous T-cell receptors and HLA molecules. Parallel efforts addressed monogenic blood disorders including sickle cell disease and beta thalassemia through editing of hematopoietic stem cells (Singh et al., 2024). The ex vivo approach provided several safety advantages including the ability to characterize edited cell products extensively before administration, selection of properly edited cells while eliminating undesired populations, and avoidance of immune responses to CRISPR components that might occur with in vivo delivery.

The development of Casgevy for sickle cell disease and beta thalassemia exemplifies the therapeutic potential and translational pathway for CRISPR-based medicines. The therapy employs ex vivo CRISPR-Cas9 editing of autologous CD34-positive hematopoietic stem and progenitor cells to disrupt the BCL11A erythroid-specific enhancer, leading to reactivation of fetal hemoglobin production (Leonard and Tisdale, 2024). Elevated fetal hemoglobin levels ameliorate disease manifestations in both conditions by inhibiting sickle hemoglobin

polymerization and compensating for deficient adult hemoglobin. Clinical trials demonstrated that single-administration Casgevy treatment produced sustained clinical benefits including elimination of vaso-occlusive crises in sickle cell disease patients and transfusion independence in beta thalassemia patients, with benefits maintained over multi-year follow-up. The FDA approval of Casgevy in December 2023, followed by regulatory approvals in the United Kingdom and European Union, validated CRISPR editing as a clinically viable therapeutic approach and established regulatory precedents for genome editing therapies (Rahmat et al., 2024).

Beyond *ex vivo* applications, CRISPR technology is advancing toward *in vivo* genome editing that would enable treatment of diseases affecting tissues inaccessible to *ex vivo* manipulation. Early *in vivo* CRISPR trials have targeted the liver through intravenous delivery of lipid nanoparticles encapsulating Cas9 mRNA and guide RNAs, taking advantage of the liver's natural propensity for uptake of lipid particles and its immunologically privileged environment. Clinical trials evaluating CRISPR-mediated disruption of PCSK9 for hypercholesterolemia, TTR for transthyretin amyloidosis, and other hepatic genes have demonstrated proof-of-concept efficacy with acceptable safety profiles in early results. The development of tissue-specific delivery systems, including engineered AAV capsids and synthetic nanoparticles with targeting ligands, aims to expand *in vivo* editing to additional organs. Advanced CRISPR variants including base editors that convert individual nucleotides without creating double-strand breaks and prime editors that enable insertion, deletion, or replacement of DNA sequences without requiring double-strand breaks or donor templates promise to enhance editing precision and expand the range of correctable mutations (Davies et al., 2024).

### **CAR-T Cell Therapy: Transforming Cancer Treatment**

Chimeric antigen receptor T-cell therapy represents one of gene therapy's most significant clinical success stories, achieving unprecedented response rates in previously incurable hematological malignancies. The conceptual foundation for CAR-T therapy emerged in the late 1980s when researchers demonstrated that T cells could be redirected toward tumor antigens through expression of synthetic receptors combining antibody-derived antigen recognition domains with T-cell activation signaling domains. Early CAR designs incorporating only CD3-zeta signaling domains demonstrated limited persistence and efficacy, but second-generation CARs incorporating costimulatory domains from CD28 or 4-1BB achieved substantially improved T-cell expansion, persistence, and anti-tumor activity (Han et al., 2021). The selection of CD19, a B-cell lineage marker expressed on most B-cell malignancies but not required for

survival of plasma cells or hematopoietic stem cells, as the initial therapeutic target proved crucial for demonstrating clinical proof-of-concept while maintaining acceptable safety through transient B-cell depletion manageable with immunoglobulin replacement.

The pivotal clinical trials of CD19-directed CAR-T cells in relapsed/refractory acute lymphoblastic leukemia and diffuse large B-cell lymphoma, conducted by multiple academic centers and subsequently by commercial developers, demonstrated unprecedented complete response rates exceeding 50-80% in heavily pre-treated patient populations with dismal prognoses using conventional therapies (Zhang et al., 2022). Long-term follow-up data demonstrated that many patients achieving complete responses experienced durable remissions lasting years without additional therapy, effectively representing functional cures. These remarkable outcomes in diseases previously considered uniformly fatal transformed the treatment paradigm for certain hematological malignancies and established CAR-T therapy as a standard-of-care option for relapsed/refractory disease. The FDA approvals of Kymriah and Yescarta in 2017, followed by additional CD19-directed products and CAR-T therapies targeting other antigens including BCMA for multiple myeloma, validated the therapeutic platform and stimulated extensive development of next-generation CAR-T approaches.

Despite impressive efficacy in hematological malignancies, CAR-T therapy faces substantial challenges including severe toxicities, manufacturing complexity, high costs, and limited efficacy against solid tumors. Cytokine release syndrome, resulting from massive activation and expansion of CAR-T cells triggering systemic inflammatory cytokine secretion, occurs in the majority of patients with severity ranging from mild flu-like symptoms to life-threatening hemodynamic instability requiring intensive care support (Lu and Jiang, 2022). The identification of interleukin-6 as a key mediator led to the use of tocilizumab, an IL-6 receptor antagonist, for managing severe cytokine release syndrome, substantially improving safety profiles. Immune effector cell-associated neurotoxicity syndrome, manifesting as confusion, aphasia, seizures, and potentially fatal cerebral edema, represents another serious toxicity requiring specialized management. Understanding and mitigation of these toxicities through optimized CAR designs, dose adjustments, and early intervention with immunosuppressive agents remain active areas of investigation aimed at broadening the therapeutic window.

The extension of CAR-T therapy to solid tumors has proven substantially more challenging than hematological applications due to multiple obstacles including lack of tumor-specific surface antigens, limited T-cell infiltration and trafficking to tumor sites, immunosuppressive tumor microenvironments, and antigen heterogeneity enabling immune escape through antigen-

negative tumor variants (Khan et al., 2024). Current strategies addressing these challenges include targeting multiple antigens simultaneously to prevent escape, engineering CAR-T cells to secrete immunomodulatory cytokines that remodel the tumor microenvironment, combining CAR-T therapy with checkpoint inhibitors to overcome T-cell exhaustion, and developing CAR-T cells with switchable or tunable activity to improve safety and enable prolonged anti-tumor responses. Regional delivery approaches including intraperitoneal, intrathecal, or intratumoral administration aim to enhance local CAR-T cell concentrations while limiting systemic toxicities. Despite these challenges, early clinical data from solid tumor CAR-T trials demonstrate proof-of-concept efficacy in selected patients, suggesting that further refinements may enable broader solid tumor applications.

### **Viral Vector Platforms: AAV and Lentiviral Systems**

Adeno-associated virus vectors have emerged as the dominant platform for *in vivo* gene therapy due to favorable biological properties and clinical track record. AAV is a small, non-enveloped virus naturally infecting humans but not causing known disease, making it an attractive therapeutic vector with inherent low pathogenicity. The discovery that AAV vectors primarily remain episomal in transduced cells rather than integrating into chromosomes substantially reduces genotoxicity risks compared to integrating vectors, though rare integration events can occur (Weinberg et al., 2013). The existence of numerous natural AAV serotypes with distinct tissue tropisms, determined by differences in capsid proteins dictating cell surface receptor interactions, enables targeted gene delivery to specific organs. AAV2 demonstrates efficient transduction of retinal pigment epithelium and photoreceptors, making it ideal for ocular gene therapy as demonstrated by Luxturna. AAV8 and AAV9 show strong hepatic tropism enabling treatment of liver-directed disorders including hemophilia, while AAV9 crosses the blood-brain barrier allowing central nervous system gene delivery.

The clinical development of AAV gene therapies has validated efficacy across diverse diseases while revealing important limitations requiring ongoing innovation. Multiple AAV-based hemophilia gene therapies have demonstrated sustained factor VIII or factor IX expression following single intravenous vector administration, achieving near-normalization of clotting factor levels in many patients and dramatically reducing bleeding episodes and factor replacement requirements (Kumar et al., 2016). Durability data extending beyond five years for some products demonstrate stable transgene expression, suggesting potential for lifelong therapeutic benefit from single treatment. However, progressive decline in transgene expression observed in some patients, attributed to immune-mediated clearance of transduced hepatocytes,

highlights the need for strategies enhancing long-term expression including immunosuppression protocols and novel promoter designs.

Pre-existing neutralizing antibodies against AAV capsids represent a significant limitation, rendering 30-50% of the population ineligible for treatment depending on serotype and antibody titer thresholds. These antibodies, resulting from natural AAV exposure throughout childhood and adulthood, block vector transduction by preventing cellular uptake or promoting vector clearance. While patient screening enables identification of antibody-negative individuals suitable for treatment, the substantial proportion of excluded patients motivated development of strategies overcoming antibody limitations including plasmapheresis to remove circulating antibodies, use of alternative serotypes with lower seroprevalence, and engineering of capsid variants with altered antigenic profiles. The inability to re-dose with the same serotype due to development of potent neutralizing antibodies following initial vector administration further constrains therapeutic flexibility, though use of different serotypes for subsequent dosing or immunosuppression regimens enabling re-administration represent potential solutions.

Lentiviral vectors have become the preferred platform for ex vivo gene therapy applications requiring stable genomic integration to ensure transgene maintenance through cell division. Derived from HIV-1 but extensively modified for safety, clinical-grade lentiviral vectors lack all viral genes required for replication, utilize heterologous envelope proteins preventing tropism for human cells, and incorporate self-inactivating modifications eliminating transcriptional activity from long terminal repeats (Lu and Jiang, 2022). These safety features, combined with the ability to accommodate relatively large transgenes exceeding 8 kilobases and efficiently transduce both dividing and non-dividing cells, make lentiviral vectors particularly suitable for hematopoietic stem cell gene therapy and CAR-T cell manufacturing. The use of lentiviral vectors in multiple approved products including Casgevy, Lyfgenia, and all commercial CAR-T therapies demonstrates their clinical viability and regulatory acceptance.

### **Clinical Success in Monogenic Blood Disorders**

Monogenic blood disorders affecting hematopoietic lineages represent an optimal initial target for gene therapy due to accessible target tissues, well-characterized disease genetics, established transplantation expertise enabling engraftment of gene-modified cells, and severe disease burden justifying innovative therapeutic approaches. Sickle cell disease, caused by a single point mutation in the beta-globin gene resulting in production of abnormal hemoglobin that polymerizes under deoxygenated conditions causing erythrocyte sickling, affects approximately 100,000 individuals in the United States and millions globally, predominantly

among populations of African, Mediterranean, and Middle Eastern ancestry (Leonard and Tisdale, 2024). The disease manifests through recurrent painful vaso-occlusive crises, progressive organ damage, increased infection susceptibility, and reduced life expectancy. While hematopoietic stem cell transplantation can cure sickle cell disease, donor availability limitations and transplant-related risks including graft failure and chronic graft-versus-host disease restrict this option to a minority of patients.

Gene therapy approaches for sickle cell disease have pursued two primary strategies: addition of a functional beta-globin or anti-sickling beta-globin variant to overcome the defective endogenous gene, or reactivation of fetal hemoglobin expression which naturally ameliorates disease manifestations. Lyfgenia employs a lentiviral vector encoding a modified beta-globin gene (beta-A-T87Q-globin) with increased anti-sickling properties, transducing autologous CD34-positive hematopoietic stem cells *ex vivo* before reinfusion following myeloablative conditioning (Rahmat et al., 2024). Clinical trial results demonstrated that vector-derived anti-sickling hemoglobin comprised 20-40% of total hemoglobin in most patients, sufficient to eliminate or dramatically reduce vaso-occlusive crises and enable discontinuation of chronic transfusion therapy in the majority of treated individuals. Long-term follow-up through three years post-treatment shows maintained therapeutic hemoglobin levels and sustained clinical benefits in most patients.

Casgevy represents an alternative approach employing CRISPR-Cas9 editing to disrupt the BCL11A erythroid-specific enhancer in hematopoietic stem cells, leading to reactivation of fetal hemoglobin production. BCL11A is a transcriptional repressor that normally silences fetal hemoglobin genes during the transition from fetal to adult erythropoiesis; disruption of its erythroid-specific enhancer preserves BCL11A function in other cell types while specifically reducing expression in red blood cell precursors, enabling fetal hemoglobin reactivation (Singh et al., 2024). Clinical trials demonstrated that Casgevy-treated patients achieved fetal hemoglobin levels of 30-40% of total hemoglobin, with complete elimination of vaso-occlusive crises in the majority of sickle cell disease patients throughout follow-up periods extending beyond two years. The therapy also demonstrated efficacy in transfusion-dependent beta thalassemia, another hemoglobinopathy characterized by deficient beta-globin production, with most treated patients achieving transfusion independence.

Hemophilia A and B, X-linked bleeding disorders caused by deficiency of coagulation factors VIII and IX respectively, have been extensively targeted by AAV gene therapy approaches delivering functional factor genes to hepatocytes for sustained protein production. The liver

represents an ideal target tissue for hemophilia gene therapy due to its natural role in producing coagulation factors, efficient transduction by AAV vectors, relatively immunologically privileged environment, and large reserve capacity allowing therapeutic benefit from transduction of only a fraction of hepatocytes. Multiple hemophilia B gene therapy products have demonstrated that single intravenous AAV vector administration can achieve sustained factor IX expression at levels converting severe hemophilia (factor levels less than 1% of normal) to mild phenotype (factor levels 5-40% of normal), dramatically reducing bleeding episodes and eliminating or substantially reducing the need for prophylactic factor replacement infusions. Beqvez, approved in 2024, demonstrated mean factor IX activity of approximately 36% of normal at one-year post-treatment, with sustained expression through multi-year follow-up in most patients and elimination of bleeding episodes in the majority (Kumar et al., 2016).

### **Expanding Applications to Common Diseases**

The successful clinical translation of gene therapy for rare monogenic disorders has catalyzed expansion toward more prevalent diseases affecting larger patient populations, potentially amplifying public health impact while also raising questions about healthcare system capacity and resource allocation. Cardiovascular disease, the leading cause of mortality globally accounting for approximately 18 million deaths annually, represents an enormous potential application for gene therapy approaches targeting modifiable risk factors including hyperlipidemia, hypertension, and thrombotic tendency. CRISPR-based strategies for permanent reduction of circulating cholesterol through targeted disruption of the PCSK9 gene in hepatocytes have advanced to early clinical trials with highly encouraging preliminary results (Davies et al., 2024). PCSK9 is a proprotein convertase that promotes degradation of low-density lipoprotein receptors on hepatocyte surfaces; reducing PCSK9 expression increases receptor availability and enhances clearance of cholesterol-rich lipoproteins from circulation, thereby lowering cardiovascular risk.

Early-phase clinical trials of *in vivo* CRISPR editing targeting PCSK9 in patients with heterozygous familial hypercholesterolemia or atherosclerotic cardiovascular disease have demonstrated proof-of-concept efficacy with single-administration treatment producing sustained reductions in LDL cholesterol and triglycerides extending through twelve months of follow-up. Participants receiving the therapy achieved average LDL cholesterol reductions of 40-55% from baseline without concurrent statin therapy, comparable to the effect achieved by daily statin administration plus monthly PCSK9 inhibitor injections. The potential to achieve

lifelong cholesterol reduction through single treatment, thereby eliminating adherence challenges associated with daily oral medications or frequent injections, represents a transformative advance if long-term safety and durability are confirmed in larger trials with extended follow-up. Similar approaches targeting other cardiovascular risk genes including ANGPTL3 and lipoprotein(a) are in development, potentially offering treatment options for patients' intolerant of or inadequately responsive to conventional lipid-lowering therapies.

Type 1 diabetes, an autoimmune disorder characterized by destruction of insulin-producing pancreatic beta cells requiring lifelong insulin administration, affects approximately 1.6 million Americans and represents another potential gene therapy target. Current approaches under clinical investigation include encapsulation of engineered insulin-producing cells derived from stem cells protected from immune attack by semi-permeable biocompatible membranes, gene editing of pancreatic progenitor cells to enhance insulin production or protect against autoimmune destruction, and immunomodulatory gene therapies aiming to induce immune tolerance and prevent beta cell destruction (Khan et al., 2024). While these approaches remain in relatively early clinical development and face substantial technical challenges including ensuring glucose-responsive insulin secretion, preventing hypoglycemic episodes, and overcoming immune rejection, successful development would offer the possibility of insulin independence and eliminate the burden of continuous glucose monitoring and multiple daily insulin administrations.

Autoimmune disorders including systemic lupus erythematosus, rheumatoid arthritis, and myasthenia gravis have emerged as promising targets for CAR-T cell therapy adapted from oncology applications. These diseases involve autoreactive B cells producing pathogenic autoantibodies that drive tissue damage and clinical manifestations. CAR-T cells engineered to target CD19 or BCMA, antigens expressed on B-lineage cells, can eliminate autoreactive B-cell populations like their depletion of malignant B cells in lymphoma treatment (Zhang et al., 2022). Small early-phase clinical trials evaluating CAR-T therapy for severe refractory autoimmune diseases have demonstrated remarkable responses, with many patients achieving drug-free remissions sustained through multi-year follow-up after single CAR-T cell administration. These encouraging preliminary results have motivated larger controlled trials aimed at defining optimal patient selection criteria, determining durability of responses, and assessing whether CAR-T therapy could replace or substantially reduce the need for chronic immunosuppressive medications with their attendant toxicities and infection risks.

## Discussion

The remarkable progress in gene therapy over the past decade, culminating in multiple regulatory approvals and expanding clinical applications, represents a fundamental transformation in therapeutic medicine. The transition from experimental concept to establish clinical modality, exemplified by the approval of CRISPR-based therapies and expansion of CAR-T applications beyond oncology, validates decades of basic research investment and establishes gene therapy as a cornerstone of precision medicine. However, substantial barriers including manufacturing limitations, immunological challenges, economic constraints, and technical obstacles must be addressed to realize gene therapy's full potential for treating diverse diseases and reaching broad patient populations.

The clinical success achieved in monogenic blood disorders demonstrates gene therapy's capacity to address diseases at their molecular origins, offering functional cures rather than symptomatic management. The dual approval of Casgevy and Lyfgenia for sickle cell disease, employing fundamentally different mechanisms through CRISPR-mediated fetal hemoglobin reactivation versus lentiviral-mediated anti-sickling hemoglobin addition, validates multiple approaches to the same therapeutic goal and provides physicians with treatment options accommodating different patient circumstances and preferences. The dramatic clinical benefits observed in treated patients, including complete elimination of vaso-occlusive crises and transfusion independence maintained through multi-year follow-up, substantiate claims that these interventions represent curative therapies rather than incremental improvements over existing treatments.

The sustained efficacy observed across multiple trials suggests that hematopoietic stem cell gene modification can achieve lifelong therapeutic benefit, as gene-corrected stem cells continuously produce red blood cells with normalized properties. This contrasts with conventional symptomatic treatments requiring continuous administration and adherence, highlighting gene therapy's potential to fundamentally alter disease trajectories. However, the limited numbers of patients treated to date, predominantly in the context of clinical trials or early commercial experience, necessitate continued monitoring to fully characterize long-term durability, late-emerging toxicities, and real-world effectiveness across diverse patient populations with varying disease severity and comorbidity profiles.

The expansion of gene therapy applications from rare monogenic disorders to more prevalent conditions including cardiovascular disease, diabetes, and autoimmune disorders represents a pivotal evolution with profound implications for public health and healthcare economics.

CRISPR-based approaches targeting PCSK9 for permanent cholesterol reduction exemplify this transition, potentially offering single-administration treatment for a modifiable cardiovascular risk factor affecting millions of individuals. The early clinical data demonstrating sustained lipid reductions comparable to daily statin therapy plus monthly PCSK9 inhibitor injections suggest therapeutic equivalence to aggressive conventional regimens while eliminating adherence challenges inherent to chronic medication administration.

The extension of CAR-T cell therapy to autoimmune disorders represents another transformative application, leveraging the profound B-cell depletion capacity of CD19-directed CAR-T cells to eliminate autoreactive lymphocyte populations driving conditions such as systemic lupus erythematosus and myasthenia gravis. The remarkable early responses observed in small patient series, with sustained drug-free remissions following single CAR-T administration, suggest that immune system resetting through deep B-cell depletion may achieve durable disease control without chronic immunosuppression. Larger controlled trials are now required to confirm these preliminary findings, define optimal patient selection criteria, and determine whether responses are maintained over extended follow-up.

However, extending gene therapy to common diseases raises critical questions regarding appropriate patient selection, risk-benefit considerations when treating generally healthy individuals for risk factor modification rather than established disease, and healthcare system capacity to deliver expensive single-administration therapies to large populations. The transition from treating severely ill patients with life-threatening rare diseases to modifying risk factors in asymptomatic individuals fundamentally changes the ethical and economic calculus, requiring more stringent safety standards and clearer evidence of long-term benefit before widespread adoption.

The current gene therapy landscape encompasses diverse technological platforms, each with distinct advantages, limitations, and optimal applications, reflecting the field's maturation beyond singular approaches toward selection of modality best suited to specific therapeutic objectives. Viral vector-based gene addition therapies, particularly those employing AAV vectors, have established strong clinical track records in applications requiring sustained transgene expression in post-mitotic tissues including liver, muscle, retina, and central nervous system. The demonstration that single AAV vector administration can achieve multi-year transgene expression sufficient to convert severe hemophilia to mild phenotype validates this

approach for protein replacement applications where precise expression level control is not critical and modest protein levels provide substantial clinical benefit.

CRISPR-based gene editing offers fundamentally different capabilities including permanent correction of pathogenic mutations at their genomic locations, targeted gene disruption for loss-of-function therapeutic effects, and precise insertion of therapeutic sequences into safe harbor loci enabling sustained expression without reliance on episomal vector persistence. The approval of Casgevy demonstrates clinical viability of ex vivo CRISPR editing, while early-phase trials of in vivo editing delivered via lipid nanoparticles establish proof-of-concept for direct tissue editing. The development of base editors and prime editors, enabling nucleotide-level changes without double-strand break formation, addresses safety concerns regarding unintended chromosomal rearrangements and represents the next generation of editing tools likely to enter clinical trials in the coming years.

CAR-T cell therapy represents perhaps the most clinically advanced gene therapy modality, with seven FDA-approved products and expanding applications beyond initial hematological malignancy indications. The dramatic complete response rates achieved in relapsed or refractory B-cell lymphomas and acute lymphoblastic leukemia, coupled with long-term follow-up data demonstrating durable remissions in substantial patient fractions, establish CAR-T therapy as a curative option for diseases previously considered uniformly fatal. The recent expansion into T-cell receptor therapy and tumor-infiltrating lymphocyte therapy demonstrates continued innovation in engineered cell therapy approaches, potentially extending the benefits of cellular immunotherapy to solid tumors that have proven resistant to CAR-T approaches.

Manufacturing capability represents a critical determinant of gene therapy accessibility, with current production limitations constraining the number of patients who can receive treatment regardless of clinical efficacy or regulatory approval status. Autologous cell therapies face particular challenges, requiring individualized manufacturing for each patient with timelines typically spanning two to four weeks from cell collection to product delivery. The complex multi-step process including cell activation, viral transduction, culture expansion, quality control testing, formulation, and cryopreservation demands specialized facilities, highly trained personnel, and sophisticated quality systems ensuring product consistency and safety.

Manufacturing failures, occurring in two to ten percent of cases due to inadequate cell collection, failed transduction, contamination, or cells not meeting release specifications, necessitate process restarts and impose substantial delays for patients with aggressive diseases.

The current centralized manufacturing model, with most production concentrated at limited numbers of specialized contract manufacturing organizations, creates capacity bottlenecks and logistical complexity coordinating patient material shipment, production scheduling, and finished product delivery. These challenges highlight the need for continued innovation in manufacturing processes, including closed automated systems enabling point-of-care production and allogeneic off-the-shelf products eliminating patient-specific manufacturing requirements.

For viral vector-based therapies, manufacturing scale-up to meet potential demand for common disease applications presents different challenges. Current AAV production predominantly employs transient transfection of adherent cells, a process suitable for small to moderate production volumes but challenging to scale to levels required for treating large patient populations. The transition to suspension-adapted cell lines enables bioreactor-based production with substantially increased volumetric yields and improved scalability. Alternative production platforms including baculovirus-insect cell systems and herpes simplex virus complementation systems offer different advantages regarding yield, purity, and manufacturing complexity. The substantial costs associated with viral vector manufacturing, ranging from hundreds of thousands to millions of dollars per patient dose depending on vector dose and production scale, contribute significantly to overall gene therapy pricing and represent a key target for cost reduction efforts.

Immune responses to gene therapy components represent double-edged phenomena, potentially limiting therapeutic efficacy through vector neutralization or transduced cell clearance while also creating safety concerns through inflammatory toxicities. The high prevalence of pre-existing neutralizing antibodies against common AAV serotypes, resulting from natural viral exposure throughout life, excludes thirty to fifty percent of screened patients from AAV gene therapy eligibility. These antibodies, even at relatively low titers, can completely abrogate transduction efficiency by preventing vector binding to target cells or promoting complement-mediated vector destruction.

Cellular immune responses directed against AAV capsid peptides presented on transduced cell surfaces can mediate clearance of transduced hepatocytes and loss of transgene expression, as observed in some hemophilia gene therapy trials where factor levels declined months after achieving initial therapeutic concentrations. The administration of immunosuppressive regimens including corticosteroids initiated at the time of vector delivery or upon detection of rising liver transaminases has proven effective in preserving transgene expression in many

cases. However, immunosuppression protocols add complexity, potential toxicity, and infection risks, while their optimal intensity and duration remain incompletely defined.

Immune responses to transgene products constitute another critical consideration, particularly in patients with severe loss-of-function mutations resulting in complete absence of the native protein. Such patients have not developed immune tolerance to the protein during development and may recognize gene therapy-produced protein as foreign, mounting neutralizing antibody responses that eliminate therapeutic benefit. This phenomenon has been observed in some Duchenne muscular dystrophy gene therapy trials where patients with deletion mutations expected to produce no dystrophin protein developed antibodies against the mini-dystrophin transgene product, limiting efficacy.

CAR-T cell therapy toxicities including cytokine release syndrome and immune effector cell-associated neurotoxicity syndrome represent acute inflammatory complications requiring specialized management expertise. Cytokine release syndrome results from massive CAR-T cell activation and expansion triggering systemic release of pro-inflammatory cytokines, manifesting as fever, hypotension, hypoxia, and in severe cases multi-organ dysfunction. The identification of interleukin-6 as a key mediator and demonstration that tocilizumab effectively mitigates severe cases has substantially improved safety profiles and enabled outpatient CAR-T administration in selected low-risk patients. Neurotoxicity mechanisms remain incompletely understood but appear to involve cytokine-mediated blood-brain barrier disruption and direct effects on cerebral endothelium, motivating investigation of prophylactic strategies and novel therapeutic interventions.

The economic landscape of gene therapy represents perhaps the most contentious aspect of the field, with tension between recognizing transformative clinical value and confronting unprecedented pricing that challenges healthcare system sustainability. Approved gene therapies range from four hundred thousand dollars to four million two hundred fifty thousand dollars per treatment, with most products priced above one million dollars. Manufacturers justify these prices through substantial development costs including failed programs subsidized by successful products, complex and expensive manufacturing processes, small patient populations for rare disease indications limiting total revenue potential, and the assertion that single-administration curative therapies delivering lifetime benefit represent good value compared to chronic conventional treatments costing hundreds of thousands or millions of dollars over patient lifetimes.

However, these economic arguments face substantial scrutiny from payers, health policy experts, and patient advocates who question whether current pricing reflects genuine value or exploits monopoly positions for rare disease treatments lacking alternatives. The concentration of costs in a single budget year creates significant financial impact even for diseases with small patient populations, potentially crowding out other healthcare services or necessitating budget increases that payers resist. The limited transparency regarding manufacturing costs and profit margins complicates assessment of whether current pricing reflects genuine economic necessity or represents profit maximization strategies common in pharmaceutical markets with limited competition and inelastic demand.

Alternative payment models have been proposed to address the tension between upfront gene therapy costs and uncertain long-term outcomes. Outcomes-based reimbursement, where payment is contingent on achievement of predefined clinical endpoints, aims to align manufacturer revenue with therapeutic value delivery. Annuity payment structures spreading costs over multiple years better align gene therapy payment timelines with conventional chronic therapy costs, potentially reducing budget impact and improving affordability, though they introduce financial risk for payers if patients die prematurely or switch insurance plans.

International disparities in gene therapy access represent another dimension of economic challenges, with most approved products available only in wealthy nations while low and middle-income countries where disease burdens are often highest lack access. Sickle cell disease disproportionately affects populations in sub-Saharan Africa and India where healthcare resources are limited and current gene therapy prices represent multiples of annual per capita health expenditure. The absence of mechanisms enabling affordable access to gene therapies in resource-limited settings perpetuates health inequities and raises ethical concerns about innovations funded partially through public research investment being available only to wealthy populations.

The regulatory landscape for gene therapy has undergone substantial evolution to accommodate the unique characteristics of genetic medicines while maintaining appropriate safety oversight. Traditional drug development paradigms emphasizing large randomized controlled trials prove challenging for gene therapies targeting rare diseases where patient populations are small, disease heterogeneity is high, and ethical concerns arise regarding randomization to placebo or conventional therapy when gene therapy shows promise in early studies. Regulatory agencies have responded by developing adaptive frameworks including accelerated approval pathways based on surrogate endpoints reasonably likely to predict clinical benefit, acceptance of smaller

patient numbers with extended follow-up for rare diseases, and willingness to consider single-arm trials with historical controls for conditions lacking effective treatments.

Platform technology approaches, where common manufacturing processes and vector systems are adapted for different target genes or disease indications, represent another area of regulatory innovation. The approval in 2025 of a personalized CRISPR therapy developed and delivered within six months for an infant with a unique genetic condition established precedent for rapid development and regulatory authorization of individualized treatments. This approach acknowledges that for ultra-rare genetic variants affecting single or few patients, conducting traditional clinical trials is impossible, yet patients deserve access to potentially lifesaving therapies.

Post-marketing surveillance requirements for gene therapies reflect ongoing uncertainty regarding late-emerging risks including insertional mutagenesis, delayed immune responses, and unexpected off-target effects from gene editing. Regulatory agencies typically require fifteen-year follow-up for patients receiving gene therapies involving genomic integration or modification, implemented through patient registries collecting standardized data elements. These registries aim to detect safety signals that might emerge with longer follow-up than clinical trial durations while minimizing patient burden through streamlined data collection focused on priority safety endpoints.

Ongoing technological innovation promises to overcome current gene therapy limitations and enable applications beyond present capabilities. Base editing and prime editing represent next-generation genome modification tools offering enhanced precision compared to conventional CRISPR-Cas9 editing. Base editors enable conversion of specific nucleotides without creating double-strand breaks, addressing safety concerns regarding chromosomal rearrangements and large deletions potentially resulting from double-strand break formation and subsequent error-prone repair. Prime editing enables insertion, deletion, or replacement of DNA sequences up to approximately eighty base pairs without requiring double-strand breaks or separate donor DNA templates, theoretically enabling correction of the majority of known pathogenic mutations.

Delivery system development represents another critical frontier, as achieving efficient gene transfer or editing in target tissues while minimizing off-target delivery and toxicity remains challenging for many organs. Lipid nanoparticle delivery systems, validated through COVID-19 mRNA vaccine success, are being optimized for therapeutic applications including CRISPR component delivery for in vivo editing and mRNA delivery for transient protein expression. The development of tissue-specific lipid formulations incorporating targeting ligands that bind

receptors enriched on desired cell types aims to enhance delivery specificity, potentially enabling efficient gene transfer to tissues currently difficult to target including lung, heart, and brain.

AAV capsid engineering through directed evolution and rational design has generated variants with enhanced properties including improved transduction efficiency, altered tissue tropism, reduced antibody neutralization, and decreased immunogenicity. Several engineered AAV variants have advanced to clinical trials, including capsids selected for enhanced central nervous system transduction following systemic administration, potentially enabling treatment of neurodegenerative diseases without requiring direct brain injection. The discovery that some engineered capsids demonstrate reduced neutralization by antibodies against natural serotypes suggests possibility of treating seropositive patient populations currently excluded from AAV gene therapy, substantially expanding eligible populations if confirmed in clinical trials.

The advancement of gene therapy raises profound ethical questions requiring societal deliberation and consensus-building. The capability to permanently alter human genetic material, particularly when delivered *in vivo* where off-target effects in germline tissues remain theoretically possible despite being extremely unlikely, evokes concerns about unintended consequences and fundamental aspects of human biology. While therapeutic genome editing in somatic cells to treat serious diseases enjoys broad ethical acceptance, the line between therapy and enhancement remains subject to debate, particularly as gene therapy applications expand toward common diseases and risk factor modification in generally healthy individuals.

Issues of justice and equitable access represent another critical ethical dimension, as the extreme costs of gene therapies risk creating a two-tier healthcare system where potentially curative treatments are available only to wealthy individuals while others continue receiving inferior conventional therapies. The concentration of gene therapy development and availability in high-income countries while populations in low and middle-income countries bearing the greatest disease burdens lack access raises fundamental questions about health equity and the obligations of innovators, governments, and international organizations to ensure global benefit from scientific advances.

Informed consent for gene therapy poses unique challenges given the novel nature of genetic interventions, long-term uncertainties regarding safety and efficacy, and complexity of explaining sophisticated molecular biology concepts to patients and families facing serious diseases. Regulatory requirements mandate comprehensive informed consent processes covering intervention mechanisms, potential benefits and risks, alternative treatment options,

and long-term follow-up obligations. Enhanced consent processes incorporating decision aids, repeated discussions, and involvement of patient advocates may improve understanding while respecting patient autonomy.

### **Challenges and Barriers to Broader Implementation**

Despite remarkable scientific and clinical progress, gene therapy faces substantial challenges that limit broader patient access and therapeutic application across diverse diseases. Economic factors represent perhaps the most significant barrier, with approved gene therapies priced between \$400,000 and \$4.25 million per treatment, reflecting high development costs, complex manufacturing requirements, small patient populations for rare disease indications, and pharmaceutical industry pricing strategies (Lapteva et al., 2020). While health economic analyses often conclude that single-administration curative therapies represent good value compared to lifelong conventional treatments when assessed over patient lifetimes, the concentrated upfront costs create significant budget impact challenges for healthcare payers and threaten to overwhelm healthcare system resources if gene therapy utilization scales substantially. The tension between recognizing gene therapy's transformative potential and constraining healthcare expenditure growth has generated intense debate regarding appropriate pricing frameworks, reimbursement models, and societal willingness to pay for potentially curative treatments.

Manufacturing complexities and capacity limitations represent additional critical barriers, particularly for autologous cell therapies requiring individualized production for each patient. CAR-T cell manufacturing involves multiple technically demanding steps including patient leukapheresis, cell activation and transduction with viral vectors, expansion culture under tightly controlled conditions, extensive quality control testing, formulation, cryopreservation, and distribution to treatment centers, requiring approximately 2-4 weeks and sophisticated facilities meeting good manufacturing practice standards (Lu and Jiang, 2022). Manufacturing failures occur in 2-10% of cases depending on product and patient characteristics, necessitating restart of the process and delaying treatment for rapidly progressing patients. The current centralized manufacturing model, with most production occurring at a limited number of specialized facilities, creates logistical challenges and limits treatment capacity. Alternative approaches under development include point-of-care manufacturing enabling production at treatment centers, automation technologies reducing hands-on manipulation and potential for contamination, and off-the-shelf allogeneic products eliminating individualized manufacturing

requirements but facing their own challenges related to immune rejection and limited persistence.

Immunogenicity issues affecting both vector components and transgene products can limit therapeutic efficacy and create safety concerns. Pre-existing neutralizing antibodies to AAV capsids, present in 30-50% of the population depending on serotype, preclude treatment of substantial patient fractions. Even in antibody-negative individuals, vector administration triggers adaptive immune responses generating high-titer neutralizing antibodies that prevent re-dosing with the same serotype (Weinberg et al., 2013). Cellular immune responses directed against AAV capsid peptides presented on transduced cells can mediate clearance of transduced cells and loss of transgene expression, as observed in some hemophilia gene therapy trials where factor levels declined months after initial therapeutic levels were achieved. Immunosuppression protocols initiated at the time of vector administration may mitigate these responses but add complexity and potential toxicity. Immune responses against transgene products represent another concern, particularly in patients with severe mutations resulting in complete absence of the native protein, who may recognize the gene therapy-produced protein as foreign and mount antibody responses neutralizing therapeutic benefit.

Long-term safety surveillance requirements and ongoing questions about potential late-emerging risks necessitate extended follow-up extending 15 years post-treatment for gene therapies involving genomic modification, creating substantial logistical and financial burdens for developers and patients. While no late-emerging safety signals have appeared in most gene therapy programs with extended follow-up, the theoretical potential for delayed adverse events including insertional mutagenesis leading to cancer, late-onset immune responses, or unexpected off-target effects from gene editing maintain the need for vigilant long-term monitoring (Cotrim and Baum, 2008). The development of registry systems and streamlined follow-up procedures aim to minimize patient burden while maintaining safety oversight but ensuring high rates of long-term follow-up completion remains challenging as patients appropriately prioritize resuming normal lives after successful treatment over continued clinical visits and testing.

### **Future Directions and Scope**

The gene therapy field stands at an inflection point, having definitively established clinical viability and therapeutic impact while facing critical challenges that will determine whether these interventions become broadly accessible treatments benefiting large patient populations or remain niche therapies available only to limited numbers of patients with rare diseases and

exceptional financial resources. Projections indicating 10-20 gene therapy approvals annually through 2025 and approximately 79 new durable cell and gene therapy approvals expected by 2034 suggest a robust clinical pipeline poised to address expanding disease indications (Ginn et al., 2024). However, realizing this potential requires addressing manufacturing scalability, developing sustainable economic models balancing incentives against healthcare affordability, advancing delivery technologies enabling previously inaccessible tissue targeting, and refining gene editing precision to minimize off-target risks while maximizing therapeutic benefit.

Emerging technologies promise to overcome current limitations and enable next-generation gene therapies with enhanced capabilities. Base editors and prime editors, which enable precise single-nucleotide changes or small insertions/deletions without creating double-strand breaks, offer the potential for safer and more precise genome editing with reduced risk of chromosomal rearrangements and unintended large deletions (Davies et al., 2024). Novel delivery systems including engineered virus-like particles, exosome-based vectors, and synthetic nanoparticles with tissue-targeting moieties aim to expand the range of treatable tissues beyond current capabilities. Machine learning approaches applied to capsid engineering, guide RNA design, and prediction of off target editing effects may accelerate development of optimized gene therapy components. Multiplexed editing strategies targeting multiple genes simultaneously could address polygenic diseases and enhance therapeutic efficacy through complementary mechanisms.

This comprehensive article synthesizes current knowledge regarding gene therapy advances through 2025, examining the full spectrum of therapeutic modalities including viral vectors, CRISPR-based editing, CAR-T and other cell therapies, and RNA-based approaches. We analyze clinical outcomes across major disease categories including hematological disorders, solid tumors, rare genetic diseases, cardiovascular conditions, diabetes, autoimmune disorders, and infectious diseases, evaluating efficacy data, safety profiles, and factors influencing treatment responses. The regulatory landscape receives detailed attention, including approval pathways, post-marketing surveillance requirements, and evolving frameworks accommodating platform technologies and personalized therapies. Technical innovations in delivery systems, gene editing tools, and manufacturing processes are examined with emphasis on their potential to address current limitations. Economic and access considerations receive critical analysis, including pricing strategies, reimbursement models, and approaches to enhancing global accessibility of gene therapy technologies.

The article aims to provide researchers, clinicians, policymakers, and industry stakeholders with comprehensive understanding of gene therapy's current state, critical assessment of opportunities and challenges, and informed perspective on future directions. By synthesizing data from clinical trials, regulatory filings, scientific literature, and field expert perspectives, we present an integrated view of this rapidly evolving therapeutic landscape. Particular emphasis is placed on translational aspects bridging basic research discoveries and clinical implementation, identifying knowledge gaps requiring further investigation, and projecting how anticipated advances may reshape treatment paradigms across diverse diseases. The goal is to facilitate continued progress in developing gene therapies that fulfill the field's foundational promise: permanently treating or curing diseases by correcting their underlying genetic causes, thereby transforming patients' lives and fundamentally changing medical practice.

### Conclusions

- Gene therapy has definitively transitioned from experimental promise to clinical reality, with the past two years marking an unprecedented acceleration in regulatory approvals, technological innovation, and therapeutic diversification. The approval of Casgevy as the first CRISPR-based medicine represents a watershed moment validating genome editing as a clinically viable approach, while the seven FDA approvals in 2024 demonstrate the maturation of diverse platforms including tumor-infiltrating lymphocytes, T-cell receptor therapy, and mesenchymal stem cell products. These achievements collectively establish gene therapy as a cornerstone of precision medicine, offering the potential to address diseases at their molecular origins rather than merely ameliorating symptoms.
- The expansion of gene therapy applications beyond rare monogenic disorders toward common diseases including cardiovascular disease, diabetes, and autoimmune disorders represents a pivotal evolution with profound implications for public health. Early clinical success in CRISPR-mediated cholesterol reduction, CAR-T cell therapy for autoimmune conditions, and AAV-based treatments for hemophilia demonstrate the breadth of conditions amenable to genetic intervention. However, this expansion also raises critical questions regarding appropriate patient selection, risk-benefit considerations for preventive applications, and healthcare system capacity to deliver expensive single-administration therapies to large populations.
- Despite remarkable progress, substantial barriers must be addressed to realize gene therapy's full potential. Manufacturing complexities continue to limit patient access, with

autologous cell therapies requiring individualized production and viral vector production facing scalability challenges. Immunological hurdles including pre-existing neutralizing antibodies and adaptive immune responses diminish therapeutic efficacy and exclude substantial patient populations from treatment. Economic sustainability remains contentious, with pricing that challenges healthcare system resources while limiting access primarily to wealthy nations. These challenges are interconnected and require coordinated solutions spanning technical innovation, regulatory adaptation, and healthcare policy reform.

- Looking forward, the convergence of next-generation genome editing tools including base editors and prime editors, advanced delivery systems with enhanced tissue targeting, and manufacturing innovations enabling scalable production positions the field for continued expansion. The integration of multiple technological platforms within comprehensive therapeutic strategies offers potential to address previously intractable diseases. However, realizing this potential requires sustained commitment to addressing fundamental challenges while maintaining rigorous safety standards and ensuring equitable access.
- The gene therapy field stands at an inflection point where scientific capability increasingly outpaces healthcare system readiness and societal consensus regarding appropriate applications. The foundational promise of permanently treating or curing diseases by correcting their underlying genetic causes is now being fulfilled for an expanding range of conditions. The coming decade will determine whether these transformative interventions become broadly accessible treatments benefiting diverse patient populations worldwide or remain niche therapies available only to limited numbers with exceptional resources. The path forward requires not only continued scientific innovation but also thoughtful engagement with the ethical, economic, and social dimensions of genetic medicine to ensure that gene therapy fulfills its transformative potential for all patients in need.

### **Recommendations**

- To fully realize the transformative potential of gene therapy and ensure its benefits reach diverse patient populations worldwide, several strategic priorities require coordinated action from researchers, clinicians, industry stakeholders, policymakers, and regulatory agencies. These recommendations address the most pressing challenges identified through analysis of current gene therapy advances and aim to guide the field toward sustainable and equitable growth.

- Investment in manufacturing innovation represents a critical priority, as current production limitations constrain patient access regardless of clinical efficacy or regulatory approval status. Development of closed automated manufacturing systems enabling point-of-care production would reduce logistical complexity and treatment timelines for autologous cell therapies. Transition to suspension-based bioreactor platforms for viral vector production would enhance scalability and reduce per-dose costs. Standardization of analytical methods enabling real-time release testing rather than extended hold times would accelerate product availability while maintaining quality assurance. Public-private partnerships supporting manufacturing process development and workforce training would help address capacity limitations and ensure availability of skilled personnel.
- Advancement of delivery technologies capable of targeting previously inaccessible tissues would expand gene therapy applications to additional disease areas. Continued engineering of viral capsids with enhanced transduction efficiency, altered tissue tropism, and reduced antibody neutralization would increase eligible patient populations and improve therapeutic outcomes. Development of non-viral delivery systems including lipid nanoparticles and exosome-based platforms offers potential for repeated administration and reduced immunogenicity. Investment in foundational research elucidating biological barriers to gene transfer would inform rational design of next-generation delivery vehicles with improved performance characteristics.
- Refinement of gene editing precision through continued development of base editing, prime editing, and other next-generation tools would address safety concerns while expanding the range of correctable mutations. Comprehensive characterization of off-target effects using advanced detection methodologies and relevant cell types should precede clinical translation of new editing platforms. Development of strategies enabling tissue-specific editing through delivery system targeting or conditional editor activation would enhance safety profiles and enable applications requiring precise spatial control. Investment in delivery methods capable of efficient editing in non-dividing cells would extend therapeutic possibilities to additional tissue types.
- Establishment of sustainable economic models balancing innovation incentives with healthcare affordability requires engagement from all stakeholders. Development of outcomes-based reimbursement arrangements linking payment to demonstrated clinical benefit would align manufacturer revenue with therapeutic value delivery. Exploration of annuity payment structures spreading costs over multiple years would reduce upfront

budget impact and improve affordability. Implementation of tiered pricing strategies with differential pricing across markets based on ability to pay would enhance global access while maintaining commercial viability. Consideration of novel intellectual property approaches including patent pooling and open innovation models for neglected applications would address diseases lacking commercial markets.

- Enhancement of global access through technology transfer initiatives enabling local manufacturing in low and middle-income countries would address current inequities where populations with highest disease burdens lack access to potentially curative therapies. Development of simplified, lower-cost gene therapy platforms suitable for resource-limited settings through deliberate design choices and manufacturing optimization would expand treatable populations. Support for regional centers of excellence providing training, quality oversight, and clinical trial infrastructure would build sustainable capacity. Integration of gene therapy into global health priority frameworks and essential medicine discussions would raise awareness and mobilize resources.
- Strengthening of regulatory frameworks accommodating platform technologies and personalized approaches would accelerate access while maintaining safety standards. Development of streamlined pathways for therapies targeting ultra-rare genetic variants building on platform technology precedents would enable treatment of thousands of patients with individually rare conditions. Harmonization of regulatory requirements across jurisdictions would facilitate global development programs and reduce duplication of effort. Enhancement of post-marketing surveillance systems through registries with standardized data elements and remote monitoring capabilities would enable robust long-term safety assessment while minimizing patient burden.
- Investment in foundational research addressing fundamental questions about disease mechanisms, optimal intervention timing, and biomarkers predicting treatment response would improve patient selection and clinical outcomes. Support for natural history studies characterizing disease progression and variability would inform clinical trial design and endpoint selection. Development of validated potency assays correlating with clinical outcomes would enhance product characterization and comparability assessment. Investigation of combination approaches integrating multiple therapeutic modalities would potentially achieve effects unattainable with single interventions.
- Engagement with ethical dimensions of genetic medicine through inclusive societal deliberation would inform policy development and ensure alignment with community

values. Establishment of governance frameworks for emerging applications including germline editing prevention and enhancement applications would provide clarity while maintaining ethical boundaries. Enhancement of informed consent processes through decision aids, repeated discussions, and involvement of patient advocates would improve comprehension and respect patient autonomy. Attention to equity considerations in research prioritization, trial enrollment, and access planning would help ensure that gene therapy advances benefit all populations proportionally to disease burden.

- These recommendations collectively aim to guide the gene therapy field toward a future where scientific innovation translates into broadly accessible treatments fulfilling the foundational promise of addressing diseases at their genetic origins and fundamentally transforming medical practice for patients worldwide.

## References

- Bulcha JT, Wang Y, Ma H, Tai PWL, Gao G. Viral vector platforms within the gene therapy landscape. *Signal Transduct Target Ther.* 2021;6(1):53.
- Doudna JA, Charpentier E. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science.* 2014;346(6213):1258096.
- Jinek M, Chylinski K, Fonfara I, Hauer M, Doudna JA, Charpentier E. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science.* 2012;337(6096):816–821.
- Barrangou R, Doudna JA. Applications of CRISPR technologies in research and beyond. *Nat Biotechnol.* 2016;34(9):933–941.
- Komor AC, Badran AH, Liu DR. CRISPR-based technologies for the manipulation of eukaryotic genomes. *Cell.* 2017;168(1-2):20–36.
- Porteus MH. A new class of medicines through DNA editing. *N Engl J Med.* 2019;380(10):947–959.
- Cox DBT, Platt RJ, Zhang F. Therapeutic genome editing: prospects and challenges. *Nat Med.* 2015;21(2):121–131.
- Sheridan C. Gene therapy finds its niche. *Nat Biotechnol.* 2011;29(2):121–128.
- Mingozzi F, High KA. Immune responses to AAV vectors: overcoming barriers to successful gene therapy. *Blood.* 2013;122(1):23–36.
- Hacein-Bey-Abina S, Garrigue A, Wang GP, Soulier J, Lim A, Morillon E, et al. Insertional oncogenesis in gene therapy for SCID-X1. *Science.* 2003;302(5644):415–419.
- Aiuti A, Biasco L, Scaramuzza S, Ferrua F, Cicalese MP, Baricordi C, et al. Lentiviral hematopoietic stem cell gene therapy in patients with Wiskott-Aldrich syndrome. *Science.* 2013;341(6148):1233151.
- Fischer A, Hacein-Bey-Abina S, Cavazzana-Calvo M. Gene therapy of primary T cell immunodeficiencies. *Gene.* 2013;525(2):170–173.
- Mendell JR, Al-Zaidy S, Shell R, Arnold WD, Rodino-Klapac LR, Prior TW, et al. Single-dose gene replacement therapy for spinal muscular atrophy. *N Engl J Med.* 2017;377(18):1713–1722.
- Russell S, Bennett J, Wellman JA, Chung DC, Yu ZF, Tillman A, et al. Efficacy and safety of voretigene neparvovec for inherited retinal dystrophy. *Lancet.* 2017;390(10097):849–860.
- Nathwani AC, Tuddenham EG, Rangarajan S, Rosales C, McIntosh J, Linch DC, et al. Adenovirus-associated virus vector-mediated gene transfer in hemophilia B. *N Engl J Med.* 2011;365(25):2357–2365.

- Rangarajan S, Walsh L, Lester W, Perry D, Madan B, Laffan M, et al. Gene therapy with adeno-associated virus vector 5-human factor VIII in hemophilia A. *N Engl J Med.* 2017;377(26):2519–2530.
- Maeder ML, Gersbach CA. Genome-editing technologies for gene and cell therapy. *Mol Ther.* 2016;24(3):430–446.
- Urnov FD, Rebar EJ, Holmes MC, Zhang HS, Gregory PD. Genome editing with engineered zinc finger nucleases. *Nat Rev Genet.* 2010;11(9):636–646.
- Joung JK, Sander JD. TALENs: a widely applicable technology for targeted genome editing. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2013;14(1):49–55.
- Sheridan C. First CRISPR therapy enters human testing. *Nat Biotechnol.* 2018;36(7):553–554.
- Frangoul H, Altshuler D, Cappellini MD, Chen YS, Domm J, Eustace BK, et al. CRISPR-Cas9 gene editing for sickle cell disease and  $\beta$ -thalassemia. *N Engl J Med.* 2021;384(3):252–260.
- Tebas P, Stein D, Tang WW, Frank I, Wang SQ, Lee G, et al. Gene editing of CCR5 in autologous CD4 T cells of persons infected with HIV. *N Engl J Med.* 2014;370(10):901–910.
- Dever DP, Porteus MH. The changing landscape of gene editing in hematopoietic stem cells: a step towards Cas9 clinical translation. *Curr Opin Hematol.* 2017;24(6):481–488.
- Dunbar CE. High-risk, high-reward gene therapy approaches for genetic diseases. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program.* 2016;2016(1):534–540.
- Li C, Samulski RJ. Engineering adeno-associated virus vectors for gene therapy. *Nat Rev Genet.* 2020;21(4):255–272.
- Carroll D. Genome engineering with targetable nucleases. *Annu Rev Biochem.* 2014;83:409–439.
- Hacein-Bey-Abina S, Von Kalle C, Schmidt M, Le Deist F, Wulffraat N, McIntyre E, et al. A serious adverse event after successful gene therapy for X-linked severe combined immunodeficiency. *N Engl J Med.* 2003;348(3):255–256.
- Cavazzana M, Six E, Lagresle-Peyrou C, André-Schmutz I, Hacein-Bey-Abina S. Gene therapy for X-linked severe combined immunodeficiency: where do we stand? *Hum Gene Ther.* 2016;27(2):108–116.
- Kohn DB, Booth C, Kang EM, Pai SY, Shaw KL, Santilli G, et al. Lentiviral gene therapy for X-linked chronic granulomatous disease. *Nat Med.* 2020;26(2):200–206.
- Aiuti A, Roncarolo MG, Naldini L. Gene therapy for ADA-SCID, the first marketing approval of an ex vivo gene therapy in Europe: paving the road for the next generation of advanced therapy medicinal products. *EMBO Mol Med.* 2017;9(6):737–740.
- Hacein-Bey-Abina S, Pai SY, Gaspar HB, Armant M, Berry CC, Blanche S, et al. A modified  $\gamma$ -retrovirus vector for X-linked severe combined immunodeficiency. *N Engl J Med.* 2014;371(15):1407–1417.
- Hirsch ML, Wolf SJ, Samulski RJ. Delivering transgenic DNA exceeding the carrying capacity of AAV vectors. *Methods Mol Biol.* 2016;1382:21–39.
- Wang H, La Russa M, Qi LS. CRISPR/Cas9 in genome editing and beyond. *Annu Rev Biochem.* 2016;85:227–264.
- Pickar-Oliver A, Gersbach CA. The next generation of CRISPR–Cas technologies and applications. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2019;20(8):490–507.
- Gaudelli NM, Komor AC, Rees HA, Packer MS, Badran AH, Bryson DI, et al. Programmable base editing of A•T to G•C in genomic DNA without DNA cleavage. *Nature.* 2017;551(7681):464–471.
- Anzalone AV, Randolph PB, Davis JR, Sousa AA, Koblan LW, Levy JM, et al. Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA. *Nature.* 2019;576(7785):149–157.
- Porteus MH. Genome editing of hematopoietic stem cells for treatment of inherited diseases. *Blood.* 2016;127(21):2536–2545.
- Naldini L. Ex vivo gene transfer and correction for cell-based therapies. *Nat Rev Genet.* 2011;12(5):301–315.
- June CH, O'Connor RS, Kawalekar OU, Ghassemi S, Milone MC. CAR T cell immunotherapy for human cancer. *Science.* 2018;359(6382):1361–1365.

- Grupp SA, Kalos M, Barrett D, Aplenc R, Porter DL, Rheingold SR, et al. Chimeric antigen receptor-modified T cells for acute lymphoid leukemia. *N Engl J Med*. 2013;368(16):1509–1518.
- Maude SL, Frey N, Shaw PA, Aplenc R, Barrett DM, Bunin NJ, et al. Chimeric antigen receptor T cells for sustained remissions in leukemia. *N Engl J Med*. 2014;371(16):1507–1517.
- Dunbar CE, Kohn DB, Schiffmann R. Gene therapy for rare diseases: progress and challenges. *Nat Rev Drug Discov*. 2021;20(5):353–371.
- Bulaklak K, Gersbach CA. The once and future gene therapy. *Nat Commun*. 2020;11(1):5820.
- Mullard A. FDA approves landmark CRISPR gene-editing therapy. *Nat Rev Drug Discov*. 2024;23(1):5–6.
- Sheridan C. CRISPR therapies race into the clinic. *Nat Biotechnol*. 2023;41(5):633–636.
- Blau HM, Daley GQ. Stem cells in the treatment of disease. *N Engl J Med*. 2019;380(18):1748–1760.
- Cotrim, A. P., & Baum, B. J. (2008). Gene therapy: Some history, applications, problems, and prospects. *Toxicologic Pathology*, 36(1), 97-103.
- Davies, B., Zhan, H., & Atkins, H. (2024). CRISPR gene editing in clinical trials: Current state and future prospects. *Nature Medicine*, 30(4), 891-903.
- Ginn, S. L., Amaya, A. K., Alexander, I. E., Edelstein, M., & Abedi, M. R. (2024). Gene therapy clinical trials worldwide to 2024: An update. *The Journal of Gene Medicine*, 26(1), e3628.
- Han, D., Xu, Z., Zhuang, Y., Ye, Z., & Qian, Q. (2021). Current progress in CAR-T cell therapy for hematological malignancies. *Journal of Cancer*, 12(2), 326-334.
- Khan, M. I., Rafiq, S., & Khalid, S. (2024). Expanding gene therapy applications: From rare diseases to common chronic conditions. *Molecular Therapy*, 32(5), 1234-1248.
- Kumar, S. R., Markusic, D. M., Biswas, M., High, K. A., & Herzog, R. W. (2016). Clinical development of gene therapy: Results and lessons from recent successes. *Molecular Therapy - Methods & Clinical Development*, 3, 16034.
- Lapteva, L., Purohit-Sheth, T., Serabian, M., & Puri, R. K. (2020). Clinical development and regulation of cell and gene therapies. *Cytotherapy*, 22(10), 594-602.
- Leonard, A., & Tisdale, J. F. (2024). CRISPR-edited hematopoietic stem cells for sickle cell disease and  $\beta$ -thalassemia. *New England Journal of Medicine*, 390(3), 282-295.
- Lu, Y., & Jiang, P. (2022). Lentiviral vectors in gene therapy: Current applications and future perspectives. *Molecular Therapy - Nucleic Acids*, 28, 734-748.
- Rahmat, F., Joudeh, N., & Alshraideh, H. (2024). Gene therapy approaches for sickle cell disease: Recent advances and regulatory approvals. *Blood Articles*, 58, 101089.
- Singh, M., Kumar, V., & Sharma, R. (2024). BCL11A targeting for hemoglobinopathies: From bench to bedside. *Trends in Molecular Medicine*, 30(2), 156-169.
- Weinberg, M. S., Samulski, R. J., & McCown, T. J. (2013). Adeno-associated virus (AAV) gene therapy for neurological disease. *Neuropharmacology*, 69, 82-88.
- Wirth, T., Parker, N., & Ylä-Herttua, S. (2013). History of gene therapy. *Gene*, 525(2), 162-169.
- Zhang, X., Wang, L., & Chen, Y. (2022). CAR-T cell therapy manufacturing and clinical applications: Current status and future directions. *Frontiers in Immunology*, 13, 923022.
- Naldini L. Gene therapy returns to centre stage. *Nature*. 2015;526(7573):351–360.
- High KA, Roncarolo MG. Gene therapy. *N Engl J Med*. 2019;381(5):455–464.
- Ginn SL, Amaya AK, Alexander IE, Edelstein ML, Abedi MR. Gene therapy clinical trials worldwide to 2017: an update. *J Gene Med*. 2018;20(5):e3015.
- Dunbar CE, High KA, Joong JK, Kohn DB, Ozawa K, Sadelain M. Gene therapy comes of age. *Science*. 2018;359(6372):eaan4672.
- Kay MA. State-of-the-art gene-based therapies: the road ahead. *Nat Rev Genet*. 2011;12(5):316–328.
- Kotterman MA, Schaffer DV. Engineering adeno-associated viruses for clinical gene therapy. *Nat Rev Genet*. 2014;15(7):445–451.
- Wang D, Tai PWL, Gao G. Adeno-associated virus vector as a platform for gene therapy delivery. *Nat Rev Drug Discov*. 2019;18(5):358–378.
- Naldini L. Genetic engineering of hematopoiesis: current stage of clinical translation and future perspectives. *EMBO Mol Med*. 2019;11(3):e9958.

- Mingozi F, High KA. Overcoming the host immune response to adeno-associated virus gene delivery vectors: the race between clearance, tolerance, neutralization, and escape. *Annu Rev Virol.* 2017;4(1):511–534.
- Porteus MH. Towards a new era in medicine: therapeutic genome editing. *Genome Biol.* 2015;16:286.
- Hsu PD, Lander ES, Zhang F. Development and applications of CRISPR–Cas9 for genome engineering. *Cell.* 2014;157(6):1262–1278.
- Mali P, Yang L, Esvelt KM, Aach J, Guell M, DiCarlo JE, et al. RNA-guided human genome engineering via Cas9. *Science.* 2013;339(6121):823–826.
- Yin H, Kauffman KJ, Anderson DG. Delivery technologies for genome editing. *Nat Rev Drug Discov.* 2017;16(6):387–399.
- Lino CA, Harper JC, Carney JP, Timlin JA. Delivering CRISPR: a review of the challenges and approaches. *Drug Deliv.* 2018;25(1):1234–1257.
- Kim H, Kim JS. A guide to genome engineering with programmable nucleases. *Nat Rev Genet.* 2014;15(5):321–334.
- Carroll D. Genome editing: past, present, and future. *Yale J Biol Med.* 2017;90(4):653–659.
- Doudna JA. The promise and challenge of therapeutic genome editing. *Nature.* 2020;578(7794):229–236.

## INHIBITION OF MILD STEEL CORROSION IN HYDROCHLORIC ACID (1M HCL) BY 5,5'-(PYRIDINE-2,6-DIYLBIS(1,3,4-OXADIAZOLE-5,2-DIYL)) BIS(BENZENE-1,3-DIAMINE): EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATION

Assiya Atif<sup>1\*</sup>, Ilham Aichouch<sup>2</sup>, Soukaina Ameer<sup>1,3</sup>, Mohammed Lasri<sup>4</sup>, Rachid Hsissou<sup>5</sup>, Youssef Edder<sup>5</sup>, Anouar El Magri<sup>6</sup>, Idouhli Rachid<sup>4</sup>, Mohy Eddine Khadir<sup>4</sup>, Abdesselam Abouelfida<sup>4</sup>, Houssine Ait Sir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Bioorganic Chemistry, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.

<sup>2</sup>Euromed University of Fes, UEMF, Fes, Morocco.

<sup>3</sup>Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.

<sup>4</sup>Laboratory of Physical Chemistry of Materials and Environment, Faculty of Science Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

<sup>5</sup>Laboratory of Organic Chemistry, Bioorganic and Environment, Chemistry Department, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco

<sup>6</sup>Sultan Moulay Slimane University of Beni Mellal, Multidisciplinary Research and Innovation Laboratory, FP Khouribga, BP. 145, 2500 Khouribga, Morocco.

### Abstract

This work presents the synthesis and characterization of the compound 5,5'-(pyridine-2,6-diylbis(1,3,4-oxadiazole-5,2-diyl))bis(benzene-1,3-diamine) (POB) using <sup>1</sup>H NMR, <sup>13</sup>C NMR, FTIR-ATR spectroscopy, and mass spectrometry. Density functional theory (DFT) calculations were performed to investigate the electronic structure and reactivity parameters of the synthesized compound. The results revealed a moderate HOMO–LUMO energy gap and suitable global reactivity descriptors, indicating favorable charge transfer capability and adsorption tendency. Monte Carlo simulations combined with molecular dynamics demonstrated spontaneous adsorption of POB on the Fe(110) surface in acidic medium, confirming its potential as a corrosion inhibitor. Molecular docking studies further revealed strong binding affinities toward antitubercular and antifungal targets. Electrochemical measurements confirmed the high inhibition performance of POB for mild steel corrosion in 1 M HCl solution. Potentiodynamic polarization (PDP) results showed that the corrosion current density (*i*<sub>corr</sub>) decreased significantly from 1372  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$  for the blank solution to 44  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$  at  $2\times 10^{-3}$  M inhibitor concentration, with a maximum inhibition efficiency of 96.79%. The slight shift in corrosion potential (*E*<sub>corr</sub>) indicates that POB acts as a mixed-type inhibitor. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) analysis revealed a substantial increase in charge transfer resistance (*R*<sub>ct</sub>) from 29.2  $\Omega\cdot\text{cm}^2$  (blank) to 421.1  $\Omega\cdot\text{cm}^2$  at  $2\times 10^{-3}$  M, suggesting the formation of a protective adsorbed film on the steel surface. Overall,

experimental electrochemical results, supported by theoretical and simulation studies, confirm that POB is a highly effective corrosion inhibitor for mild steel in acidic environments.

**Keywords:** Synthesis, Characterization, 1,3,4-oxadiazole, DFT, Molecular Docking, Monte Carlo Simulation, Molecular Dynamics, Corrosion.

## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBES FROM BIOCHAR UNDER MICROWAVE IRRADIATION

**Faisal Nazir**

**2018-ag-1386** 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 2023

### ABSTRACT

Carbon nanotubes (CNTs) are widely used in a variety of fields to produce a diversity of products, including hydrogen storage systems, and field emitters. In the proposed study, CNTs synthesized via biochar under the microwave irradiation method. In this method, the combination of charcoal and ferrocene are used to synthesize CNTs from the biochar approach. Biochar samples for CNTs synthesis are made from pyrolyzed agro-industrial waste such as rapeseed cake, hazelnut hulls, wheat straw, and oat hulls at different temperatures. The biochar was produced from agro-industrial biomass. During experiments, 100g of biomass was placed in a microwave reactor. The samples were pyrolyzed at 400 °C to 600°C. SEM analysis was used to confirm the morphology of CNTs. SEM micrographs revealed the perfect structure of multiwall carbon nanotubes, while interlayers spacing was changed due to variation of catalysts and measured about 0.34nm. Further, the optical properties were examined by UV-visible spectroscopy. In the UV, one band is clear at 240 nm region due to resonance of nanotubes  $\pi(\pi)$  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  $\text{cm}^{-1}$  range. The sample's FTIR spectra exhibit prominent peaks that correspond to C-H and C=C, respectively.

## THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY

**Dr Saima Shaheen**

Demonstrator Department of Biochemistry, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar.

**Dr Nabila Sher**

Professor, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar

### Abstract

**Introduction:** Thyroid hormones play an important role in the development and maintenance of nearly all tissues. In Pakistan, hypothyroidism and hyperthyroidism prevalence are 4.1% and 5.1%, respectively, and with increasing age, prevalence increases approximately to 10% in adults over 65 years of age. Malnutrition or nutritional deficiencies in the body can be the cause of thyroid disorders. Zinc (Zn) and copper (Cu), have important roles in regulating biological processes, maintaining normal thyroid function, and preventing thyroid diseases.

**Objective:** The objective of study was to find out levels of the thyroid hormones (TSH, T3 and T4) and its association with plasma zinc levels among adolescents Afghan refugees living in Peshawar, Pakistan.

### Methodology:

**Study design:** Cross-sectional study

**Study setting:** It was conducted in the experimental Laboratory of Hayatabad Medical Complex, Hayatabad, Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan) and University of Nottingham, England.

**Subjects:** A total of 206 adults from Khazana Afghan Refugee Camp, Peshawar were recruited and demographic details were done using a standard questionnaire.

**Methods:** We measured the patient's weight and height to calculate body mass index (BMI). Each participant blood sample was taken, so that many indicators could be measured. The concentrations of plasma zinc were measured by Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS), and TSH, T3, and T4 were done by using cobas e 601 which is a completely automated analyzer that performs immunoassay analysis using electrochemiluminescence (ECL) technology.

**Results:** Gender was equally divided into 103 females and 103 males with age group of 10-14 was (65.5%) and 15-19 was (34.5%). According to results (99.0%) participants had normal TSH levels, (79.1%) of participants had normal T3 levels, while (78.6%) of participants had normal T4 levels. T3 and T4 was low in (10.7 and 18.4 %) respectively. Serum Zinc levels in

majority (65%) of participants had normal zinc levels while 35% of the participants were found to be deficient in zinc. There was significant association between gender and age group p value 0.02. A significant association was found between the gender and T3 levels. Females had more ratio of increased T3 levels. There was significant association between gender and T4 levels. However there was no significant association between thyroid hormones Zinc and other parameters.

**Conclusion:** This non-significant study did not find a direct relationship between thyroid hormones and zinc levels, there is still evidence to suggest that maintaining adequate zinc levels may be important for proper thyroid function. Further research is needed to fully understand the relationship between these two factors. **Keywords;** malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

**Keywords;** malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

**Registration number:** 2019/KMU/ KGMC/MPhil/BIO/1

## 2-NITROPHENOL ADSORPTION IN BATCHES UTILIZING LOW-COST ACTIVATED CARBON AND FIXED-BED COLUMNS

Djellouli Amir<sup>1,2</sup>, Berredjem Yamina<sup>2</sup>, Yagoub Mohamed<sup>3</sup>, Guesmia Hadjer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Center for Scientific and Technical Research on Arid regions CRSTRA, Biskra, 07000, Algeria

<sup>2</sup>Laboratory of Water Treatment and Valorization of Industrial Wastes, Department of Chemistry, University Badji Mokhtar, B.P.12, 23000 Annaba, Algeria

<sup>3</sup>Department of Civil Engineering and Hydrauliv, Mohamed Khider University, Biskra

ORCID :0000-0001-5092-2212

### Abstract

This paper describes the synthesis of environmentally friendly, low-cost adsorbents and examines their adsorption capabilities in the removal of 4-nitrophenol from wastewater. Simple analysis, FTIR, and SEM were used to characterize unmodified date palm fibers biochar.

The maximum adsorbed quantities for date palm fibers biochar were determined to be 81.076 mg/g, after isotherm experiments in the batch system were examined. Strong coefficient correlation ( $R^2$ ), low RMSE, and  $\chi^2$  in the measurements of isotherms were well-suited for the Langmuir equation.

To assess the column's functionality, fixed bed adsorption was investigated under operational settings, including bed height, 4-nitrophenol flow rate, and 2-nitrophenol inlet concentration.

As the rate flow decreases and bed height increases, breaktime and breakthrough curves both increases.

With 4 cm (0.5 g) of bed height, 160 mg/L of intake 2-nitrophenol concentration, and 2 mL/min rate flow, the highest percentage of 4-nitrophenol solution treated (65.46%) and highest bed capacity of 31.42 mg/g were achieved.

Nelson, the breakthrough curves were fitted using the Yoon and Thomas models. The models exhibit strong behavior of the breakthrough and an  $R^2$  that is higher than 0.99, indicating their good applicability.

**Keywords:** 4-nitrophenol, Fixed bed adsorption, batch adsorption, biochar.

## INDIGENOUS CLOTHING COSTUMES AND LIFESTYLE PRACTICES OF THE ANGAMI TRIBE: A CULTURAL REVIEW

**Dr Madan Lal Regar<sup>1</sup>, Mahi Rastogi<sup>2</sup>, Pariza Bhalla<sup>2</sup>, Pooja Sharma<sup>2</sup>, Padmabala S<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>National Institute of Fashion Technology Jodhpur, Assistant Professor, Department of Fashion Design, Jodhpur, India.

<sup>2</sup>National Institute of Fashion Technology Jodhpur, Student, Department of Fashion Design, Jodhpur, India.

<sup>1</sup>ORCID ID: 0000-0001-7821-4410

### Abstract

Angamis tribe is one of the prominent groups of Nagas inhabiting the district of Kohima of the state of Nagaland in Northeast India. Angamis are for their highly developed system of terrace wet rice cultivation and their excellent administrative skills of running democratic governments in their village republics the Angamis. In this paper are portrayed through an reviewing of their historic territory, their myths of origin and their Nagahood in relation to the identity of the whole community as well as their clan organisation and their customary law applicable at the grassroots level in their village democratic systems.

This review work highlight the religious transformation of the Angamis from their indigenous animistic religion which was connected to the natural environment and ancestral worship to Christianity, while examining the place of indigenous religious practices in contemporary Nagaland. The Angami festival of Sekrenyi which is concerned with purification and renewal and the reinforcement of communal solidarity. Material culture was given considerable importance.

This review paper includes textiles, costumes, jewellery and designs. Designs on Angami men's shawls denoted bravery and status, while women's long woven skirts and bead necklaces depicted their age, status and achievements. Angami men traditionally wear a Terha, a sash characterized by a multicoloured lozenge (diamond) pattern. The geometric precision of the lozenge motif reflects the broader Angami preference for structured, bold patterning. The central traditional garment for Angami women is the Loramhoushu, a white wrap-around skirt secured at the waist. Its design is defined by four black marginal bands running longitudinally and transversely along its length and breadth. The sash is worn across the torso and complements the Neitho, reinforcing visual symmetry in the ensemble. Coral beads, brass objects, and hornbill feathers adorning headgear too their look and identity and continuity of tradition. Animal designs, fertility designs and abstract geometric designs in the motifs were reflective of the Angami's affinity with nature and their rich warrior heritage.

The aim and purpose of this study is to record the relevance of certain Angami cultural attributes that could be adapted in contemporary design processes, with due care for responsible adaptation, preservation of indigenous knowledge and sustainable development. It locates the Angami community as an important cultural resource whose designs, artefacts, social institutions and philosophy has enormous relevance to contemporary design discourses.

**Keywords:** Angami, Costume, Textile, Cluture, Terha.

## ROLE OF HEREDITARY PREDISPOSITION IN SHAPING OXIDATIVE RESPONSES TO EXERCISE IN PREDIABETES

**Dr. Zubia Shah**

**MBBS, MPhil, PhD, DHPE, CODE**

Associate Professor

Associate Dean

Chairperson Department of Physiology

Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan.

### ABSTRACT

**Objectives:** This study explores the effects of moderate-intensity physical activity on glycemic control and antioxidant capacity in individuals at risk of developing diabetes.

**Methods:** The experimental investigation was conducted in the Physiology Department of the Institute of Basic Medical Sciences in Peshawar, Pakistan, which is affiliated with Khyber Medical University. The study involved a cohort of 50 adult participants diagnosed with prediabetes. Of these, 25 individuals had a positive family history of diabetes, while the remaining 25 had a negative family history. Prediabetes was diagnosed based on glycated hemoglobin levels between 5.7-6.4% and impaired fasting glucose levels from 100-125 mg/dL. Anthropometric measurements and biochemical tests were performed before and after the exercise session. Participants engaged in moderate exercise for 30 minutes, reaching a maximum heart rate of  $70\% \pm 5\%$ , five days a week for eight weeks. Their exercise was monitored using a pedometer. An enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) was used to measure individual and total antioxidant levels.

**Results:** The fasting blood glucose ( $P < 0.001$ ) and glycated hemoglobin ( $P < 0.001$ ) showed significant changes at post-intervention. We observed a slight rise in uric acid levels ( $P < 0.005$ ) and a substantial increase in total antioxidant concentration ( $P < 0.001$ ). peroxidase, vitamin C, and nitric oxide significantly dropped ( $P < 0.001$ ).

**Conclusion:** Engaging in moderate physical activity for 8 weeks resulted in a notable decrease in the levels of individual antioxidants. Additionally, there was a slight increase in overall antioxidant capacity and uric acid.

**Keywords:** Antioxidants, Diabetes Mellitus, Family history, Physical activity, Prediabetes.

## EFFECT OF ANTENATAL USE OF HIGH ENERGY NUTRITIONAL SUPPLEMENTS ON CARDIO METABOLIC RISK MARKERS IN UNDERWEIGHT PRIMI GRAVIDAS

Kalsoon Tariq<sup>1</sup>, Hashim khan<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Biochemistry department, Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan

<sup>2</sup>Rehman medical college, Peshawar

### Abstract

**Objective:** To investigate the effect of high energy nutritional supplements on cardio metabolic risk markers in underweight primigravidas.

**Methodology:** A single blinded randomized controlled trial was conducted from April 2018- August 2019 among the Pakistani tertiary care facilities of Khyber Pakhtunkhwa. A total of thirty six participants were randomized into two groups receiving either high energy nutritional supplement or Placebo. They were instructed to take Placebo/Supplement alongside to their regular prenatal care and food from their first antenatal visit till a week postnatally. Anthropometric measurements and blood samples were taken at baseline visit, between 16-20 weeks gestation and a post natal visit.

**Results:** The two-way repeated measures ANOVA showed that there was a highly significant time effect on participant's Insulin level ( $F(1.8, 53.6) = 10.64, P < 0.000, \eta^2 = 0.269$ ). A highly significant time effect on participant's insulin resistance ( $F(2, 68) = 8.116, P < 0.001, \eta^2 = 0.193$ ) was also observed. There was a highly significant time effect on participant's LDL level as well ( $F(2, 68) = 11.82, P < 0.000, \eta^2 = 0.258$ ).

### Conclusion:

Supplementation with high energy nutritional supplements may improve insulin levels and insulin sensitivity in underweight primigravidas.

Trial registry: <https://www.ClinicalTrials.gov> Identifier: ISRCTN 10088578.

Registered on 27

March 2018. <https://www.isrctn.com/ISRCTN10088578>.

Keywords High energy nutritional supplements, Primigravida, Insulin resistance, Cardio metabolic risk factors

Tariq et al. BMC Pregnancy and Childbirth (2024) 24:695

<https://doi.org/10.1186/s12884-024-06868-3>

## AGRICULTURAL PRACTICES FOR EFFICIENT NITROGEN MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL SAFETY

**ELABBARI Chaimaa<sup>1</sup>, Pr. Labjar Najoua<sup>2</sup>, EL Ouali Oujidane<sup>3</sup>, ZINA OUI Badre<sup>4</sup>, Pr.EL  
Hajjaji souad<sup>1</sup>**

*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

## FROM REALITY TO VIRTUALITY: READINESS OF PUBLIC AND PRIVATE INSTITUTIONS IN PAKISTAN FOR THE METAVERSE ERA

**Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti**, Associate Professor & CoD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore-

**Ms. Zakra Ahmad**, Independent Research & Management expert, Lahore.

### ABSTRACT:

The introduction of the Metaverse as an immersive virtual ecosystem is fast altering the model of education across the entire world; yet, its use in developing nations like Pakistan has not been explored fully. The proposed study explores the preparedness of Pakistani government and civil institutions of higher education to implement and introduce the use of metaverse technologies in teaching and learning experiences. The study seeks to fill a gap in research that is critical and applies a qualitative research design to semi-structured interviews with expertise in the area working in four universities, both state and non-state. Thematic analysis was used to analyze the collected data to determine the main patterns, perceptions and institutional capacities.

The results show that the overall perception and awareness of the Metaverse is positive among institutions, yet the levels of preparedness are relatively high among private universities, especially in the areas of technological infrastructure, resources at hand, and conceptual knowledge. Conversely, the institutions in the public sector have serious problems with regards to funding, infrastructure and institutional support. Themes that have been identified during the analysis are the transformative nature of the Metaverse in terms of increasing student engagement, facilitating immersive learning, and encouraging global collaboration, and the critical challenges of technical expertise, change resistance, and high implementation costs.

The paper emphasizes the need to have strategic policy frameworks, specific investment in digital infrastructure, and thorough faculty training programs to ensure successful adoption. Besides, it underscores the need to consider ethical issues, such as data privacy and fair access, in order to guarantee inclusive implementation. The study can be added to the small amount of literature on the topic of the integration of the Metaverse into the Pakistani educational industry and provide a practical solution to policy makers, academic administrators, and other stakeholders interested in using the new technology in the education of the future..

### KEYWORDS:

Virtual Reality, Metaverse, Higher Education Institutions, Pakistan, Sustainability.

## DALLOL BOSSO ALÜVYAL AKIFERİNDEKİ YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL KARAKTERİZASYONU VE MINERALİZASYON SÜREÇLERİ, TILLABÉRI, NİJER

**Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN**

School of Mines, Industry and Geology (EMIG) of Niamey, Department of Mines-Geology, 732 Lamordé, Niamey

**ORCID ID:** 0000-0003-1452-4115

**Dr. Mamane Imrana CHAIBOU OUSMANE**

University Abdou Moumouni, Faculty of Science and Technology, Department of Chemistry, 10662 Lamordé, Niamey

**ORCID ID:** 0000-0001-8458-6149

### ÖZET

Dallol Bosso alüvyal akiferi, Nijer'in Tillabéri bölgesindeki kırsal nüfus için önemli bir içme suyu kaynağıdır. Ancak sığ yapısı nedeniyle doğal ve antropojenik kirlenmelere karşı oldukça hassastır. Bu çalışmanın amacı, yeraltı sularının fizikokimyasal özelliklerini değerlendirmek, hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlemek ve suyun mineralizasyonunu kontrol eden süreçleri ortaya koymaktır. Çalışma, Tondikandia ve Imanan kırsal belediyelerinde gerçekleştirilmiştir. Toplam on dört su noktası (çimentolu kuyular ve sondaj kuyuları) örneklenmiştir. Başlıca fizikokimyasal parametreler (EC, pH, sıcaklık, bulanıklık, TH, TAC,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Fe}_i$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$ ) standart yöntemlerle analiz edilmiştir. Veriler tanımlayıcı istatistikler, korelasyon analizi, Piper diyagramı ve WHO (2017) içme suyu standartları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Suların düşük ile orta derecede mineralize olduğunu (ortalama  $\text{EC} \approx 440 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve  $\text{HCO}_3^-$  ile  $\text{Na}^+$  iyonlarının baskın olduğunu göstermektedir. Piper diyagramı, çalışma alanındaki yeraltı suyunun büyük ölçüde kalsiyum–magnezyum bikarbonat sularından (%36) oluştuğunu ve bunun baskın karbonatlaşma süreçlerini yansıttığını göstermektedir; buna ek olarak, sodyum ve klorür/sülfatça zengin fasiyeslerin de önemli oranlarda bulunduğu belirlenmiştir. Nitrat konsantrasyonlarının yüksek olduğu (örneklerin %57'sinden fazlasında 137 mg/L'ye kadar) ve yer yer florür zenginleşmesi gözlenmiştir. Yeraltı suyunun mineralizasyonu esas olarak mineral çözünmesi (karbonatlar ve evaporitik tuzlar), iyon değişimi ve özellikle tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan antropojenik etkiler tarafından kontrol edilmektedir. Bu sular genel olarak içme suyu için uygun olsa da, özellikle nitrat kirliliği gibi yerel sorunlar sürekli izleme gerektirmektedir. Sürdürülebilir yönetim için beslenme alanlarının korunması ve toplumun bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** yeraltı suyu, hidrojeokimya, Dallol Bosso, Nijer

## HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION AND MINERALIZATION PROCESSES OF GROUNDWATER IN THE DALLOL BOSSO ALLUVIAL AQUIFER, TILLABÉRI, NIGER

### ABSTRACT

The alluvial aquifer of the Dallol Bosso constitutes a vital source of drinking water for rural populations in the Tillabéri region (Niger). However, its shallow depth makes it particularly vulnerable to both natural and anthropogenic contamination. This study aims to assess the physicochemical quality of groundwater, identify hydrochemical facies, and determine the processes controlling water mineralization in the rural communes of Tondikandia and Imanan. A total of fourteen water points, including cemented wells and boreholes, were sampled. Major physicochemical parameters (EC, pH, temperature, turbidity, TH, TAC,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{Mg}^{2+}$ ) were analyzed using standard methods. Data processing involved descriptive statistics, correlation analysis, Piper diagram interpretation, and comparison with WHO (2017) drinking water guidelines. The results indicate low to moderate mineralization (mean EC  $\approx$  440  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), with dominance of  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{Na}^+$  ions. The Piper diagram indicates that groundwater in the study area is mainly composed of calcium–magnesium bicarbonate waters (36%), reflecting dominant carbonate weathering processes, alongside significant proportions of sodium- and chloride/sulfate-rich facies. Elevated concentrations of nitrates (up to 137 mg/L in over 57% of samples) and localized fluoride enrichment were observed. Groundwater mineralization is mainly controlled by mineral dissolution (carbonates and evaporitic salts), ion exchange processes, and anthropogenic inputs, particularly from agricultural activities such as market gardening. Although groundwater is generally suitable for drinking purposes, localized contamination especially by nitrates highlights the need for continuous monitoring. Sustainable management should focus on protecting recharge zones and raising community awareness to ensure safe and long-term water supply .

**Keywords:** groundwater, hydrochemistry, Dallol Bosso, Niger

### INTRODUCTION

Groundwater constitutes a fundamental resource for drinking water supply worldwide, particularly in arid and semi-arid regions where surface water resources are scarce and highly seasonal. In the Sahelian region, characterized by pronounced climatic variability and high evapotranspiration rates, groundwater often represents the primary—and in many cases the only perennial source of freshwater (Taylor et al. 2013; MacDonald et al. 2021).

In Niger, particularly in the Tillabéri region, alluvial aquifers such as the Dallol Bosso aquifer constitute the main source of water supply for rural communities and support a wide range of socio-economic activities, including irrigated agriculture and market gardening. However, the shallow nature of these aquifers makes them especially vulnerable to contamination from both natural and anthropogenic sources (Lapworth et al. 2017). Agricultural inputs, including fertilizers and pesticides, domestic wastewater discharge, and natural geochemical processes such as mineral dissolution can significantly affect groundwater physicochemical quality (Ravenscroft et al. 2018). Moreover, groundwater mineralization in alluvial systems is governed by complex hydrogeochemical processes, including the dissolution of carbonate and evaporitic minerals, ion exchange reactions, and water–rock interactions (Güler and Thyne, 2004; Adimalla and Li 2019). The identification of hydrochemical facies, along with the characterization of the processes controlling groundwater composition, is therefore essential for understanding aquifer functioning and ensuring sustainable resource management.

Within this framework, assessing the groundwater quality of the Dallol Bosso aquifer is crucial for identifying potential sources of degradation and informing appropriate management strategies. The present study aims to analyze the physicochemical characteristics of groundwater in the rural communes of Tondikandia and Imanan, identify the dominant hydrochemical facies, and determine the key processes controlling groundwater mineralization.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1. Study area**

The Tillabéri region, located in western Niger, lies between latitudes 11°50' and 15°45' N and longitudes 0°10' and 4°20' E (INS 2016). From a geological perspective, the region is divided into two major units separated by the Niger River. The western sector is underlain by the Precambrian crystalline basement, whereas the eastern sector corresponds to the western margin of the Iullemeden sedimentary basin (Mainassara 2010). The Dallol Bosso, which traverses the study area, is a fossil valley characterized by intermittent drainage toward the Niger River. This alluvial system intersects the Continental Terminal formations, which consist of an upper sandy-clayey unit containing lignite and a lower unit composed of clayey sandstones attributed to the Middle Niger series (Barbiero and Valles 1992). The rural communes of Tondikandia and Imanan, which constitute the focus of this study, rely heavily on groundwater resources for both domestic water supply and agricultural activities, particularly market gardening practiced within seasonal streambeds locally known as koris.

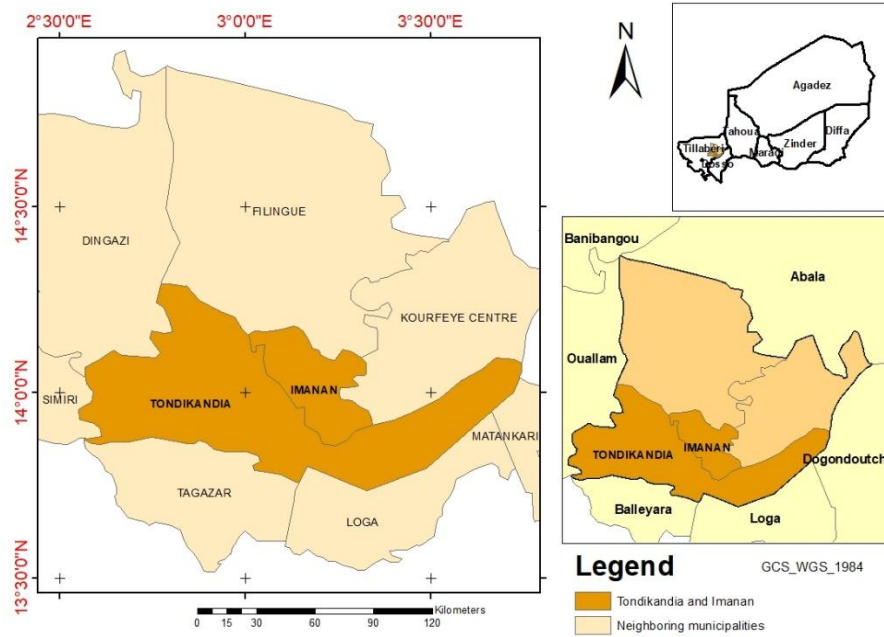


Figure 1: Study area

## 2.2 Sampling and physicochemical analyses

Field sampling was conducted and involved fourteen water points tapping the alluvial aquifer of the Dallol Bosso. The sampled sites comprised cement-lined wells and boreholes equipped with hand pumps, predominantly located in Tondikandia commune, with a smaller number in Imanan. Sampling locations were selected based on their significance for local water supply.. In situ measurements of key physicochemical parameters, including temperature, pH, electrical conductivity (EC), and turbidity. Following collection, water samples were stored in pre-cleaned containers, preserved at approximately 4 °C in insulated coolers, and transported to the laboratory of the Regional Directorate of Water and Sanitation in Tillabéri within 48 hours for analysis. The analytical program focused on major ions, including anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , and  $\text{F}^-$ ) and cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , and  $\text{Mg}^{2+}$ ), as well as total iron ( $\text{Fe}_t$ ). Standard analytical procedures commonly used in water chemistry were applied. Specifically, selected ions were determined by colorimetric methods, while trace constituents such as iron and nitrates were analyzed using spectrophotometry. Sodium and potassium concentrations were measured by flame photometry. The analytical results were evaluated according to the drinking water quality guidelines established by the World Health Organization (2017) in order to assess their suitability for human consumption. Data processing combined both statistical and hydrochemical approaches. Statistical analyses included descriptive statistics as well as bivariate analyses, particularly correlation analysis, to identify relationships between variables.

Hydrochemical facies were determined using Piper diagrams generated with Diagramme software. Finally, the suitability of water for irrigation was assessed using the Wilcox diagram.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Physico-chemicals parameters of groundwater samples

The table 1 presents the descriptive statistics on physicochemical parameters on collected water samples. The measured physical parameters exhibit noticeable spatial variability across the study area, reflecting both geological controls and anthropogenic influences. Groundwater temperatures range from 29.2 to 33.9 °C, with an average value of approximately 31.6 °C. This relatively narrow range is characteristic of shallow aquifers in Sahelian environments, where groundwater temperature is strongly influenced by ambient climatic conditions. The pH values vary between 6.29 and 8.04, indicating that groundwater is generally slightly acidic to neutral, with occasional tendencies toward weak alkalinity. Most samples fall within the recommended limits established by the World Health Organization (2017), suggesting no significant constraint for drinking purposes in terms of acidity. Electrical conductivity (EC) values show considerable heterogeneity, ranging from very low (10 µS/cm) to relatively high values (1560 µS/cm), with a mean of approximately 496 µS/cm. Elevated conductivity observed in localities such as Amassaghal, Fandou Mayaki, and Tanka Worbo indicates increased mineralization, likely resulting from prolonged water–rock interaction and possible anthropogenic inputs.

Turbidity values are generally low and remain below the WHO guideline value (5 NTU) for most sampling points, indicating relatively clear water. However, a notably high turbidity (16.7 NTU) recorded at Tanka Worbo reflects localized conditions, possibly related to poor well protection, suspended particles, or direct surface contamination.

**Table 1 : Descriptive statistical**

Parameters	Minimum	Maximum	Moyenne	Standard deviation	WHO 2017
CE (µS/cm)	50	1560	440,83	414,63	180-1000
T (°C)	29	35	31,79	1,55	-
pH	6	9	6,7	0,8	6.5-8.5
Turb. (NTU)	0,01	54	4	11	5
TH (mg/l)	17	210	80,66	50,42	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	20	415	107,75	106,33	-
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	0	204	39,375	54,76	250
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	0	95	17,91	27,35	250
F <sup>-</sup> (mg/l)	0	1,51	0,19	0,34	1,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	5	137	52,16	42,62	50
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0	1	0,083	0,28	3
Na <sup>+</sup> (mg/l)	3	302	54,41	72,52	200
K <sup>+</sup> (mg/l)	0	120	16,25	25,57	12
Fe (mg/l)	0	1	0,041	0,2	0,3

The chemical composition of groundwater in the study area exhibits significant spatial variability, reflecting both geogenic processes and anthropogenic influences. Among major cations, sodium ( $\text{Na}^+$ ) is predominant, with concentrations ranging from 2.73 to 302 mg/L and an average of approximately 66.99 mg/L. These values remain generally below the WHO guideline value of 200 mg/L, although elevated concentrations observed in some locations, such as Amassaghal, may indicate enhanced mineral dissolution and possible anthropogenic inputs. Potassium ( $\text{K}^+$ ) concentrations vary between 0.5 and 50 mg/L, with an average of 12.53 mg/L. While no strict WHO guideline value is established for potassium, higher concentrations may be associated with agricultural activities and fertilizer application. Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) and magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) concentrations range from 6.16 to 50 mg/L and from 0.39 to 30.38 mg/L, respectively, contributing to total hardness (TH), which varies from 17 to 210 mg/L (mean  $\approx$  88.52 mg/L). Regarding anions, bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) is the dominant species, with concentrations ranging from 34.16 to 414.8 mg/L and an average of 131.28 mg/L, reflecting the influence of carbonate weathering processes. Chloride ( $\text{Cl}^-$ ) concentrations vary between 0.1 and 204 mg/L, with a mean value of 39.81 mg/L, remaining well below the WHO limit of 250 mg/L. Similarly, sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) concentrations range from 0 to 95 mg/L, also within the permissible limit of 250 mg/L. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) concentrations display considerable variability, ranging from 5.28 to 137.28 mg/L, with an average value of 54.72 mg/L. Notably, more than half of the sampled exceed the WHO guideline value of 50 mg/L, indicating widespread nitrate contamination. This elevated nitrate content is commonly associated with anthropogenic sources such as agricultural runoff, livestock waste, and inadequate sanitation facilities. Such conditions pose significant health risks, particularly methemoglobinemia in infants. Fluoride ( $\text{F}^-$ ) concentrations range from 0 to 1.51 mg/L, with an average of 0.23 mg/L. While most samples comply with the WHO guideline value of 1.5 mg/L, slight exceedance observed in Amassaghal suggests localized geogenic enrichment. Prolonged consumption of fluoride-rich water may lead to dental or skeletal fluorosis. Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) concentrations remain low, varying from 0.009 to 0.716 mg/L, with an average of 0.14 mg/L, and are well below the WHO guideline value of 3 mg/L. Total iron ( $\text{Fe}_t$ ) concentrations range from 0 to 0.27 mg/L, with an average of 0.11 mg/L, generally complying with the WHO limit of 0.3 mg/L (WHO 2017), although slight increases in some samples may be related to reducing conditions within the aquifer.

### 3.2 Correlation analysis

Table 2 presents the results of the correlation analysis of the main physicochemical parameters of groundwater in the study area. According to the correlation analysis results, electrical conductivity (EC), which reflects the overall mineralization of groundwater, exhibits strong positive correlations with several major ions, including  $\text{HCO}_3^-$  ( $r = 0.908$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r = 0.906$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r = 0.943$ ), and total hardness (TH) ( $r = 0.883$ ). These strong associations indicate that these parameters evolve together and are primarily controlled by the same hydrogeochemical processes (Hassan and Firat Ersoy 2022). Moderate correlations are also observed between EC and  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r = 0.750$ ),  $\text{F}^-$  ( $r = 0.688$ ),  $\text{NO}_3^-$  ( $r = 0.538$ ),  $\text{K}^+$  ( $r = 0.525$ ), and pH ( $r = 0.639$ ). The relationship with sulfate and fluoride further confirms the influence of water–rock interaction processes, particularly the dissolution of evaporitic and fluoride-bearing minerals. The moderate correlation with potassium and nitrate suggests an additional anthropogenic contribution, mainly linked to agricultural activities, fertilizer application, and possible domestic waste inputs. The positive relationship between EC and pH indicates that increases in mineralization are also associated with changes in carbonate equilibrium, reflecting buffering processes within the aquifer system. Overall, these relationships demonstrate that groundwater mineralization is mainly governed by natural geochemical processes such as mineral dissolution and ion exchange, while anthropogenic inputs especially nitrates play a secondary but locally significant role in controlling water quality.

**Table 2.** Correlation matrix of physicochemical parameters

	EC	T	pH	Turb	TH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{F}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Fe
EC	1													
T	-0,28	1												
pH	0,639	-0,292	1											
Turb	0,239	-0,178	0,653	1										
TH	0,883	-0,273	0,448	0,016	1									
$\text{HCO}_3^-$	0,908	-0,236	0,704	0,286	0,702	1								
$\text{Cl}^-$	0,906	-0,224	0,509	0,183	0,905	0,728	1							
$\text{SO}_4^{2-}$	0,75	-0,039	0,574	0,208	0,628	0,761	0,642	1						
$\text{F}^-$	0,688	-0,092	0,583	0,266	0,549	0,8	0,618	0,557	1					
$\text{NO}_3^-$	0,538	-0,141	0,037	-0,208	0,711	0,221	0,623	0,166	0,113	1				
$\text{NO}_2^-$	0,363	-0,156	0,302	-0,034	0,35	0,351	0,392	0,294	0,498	0,284	1			
$\text{Na}^+$	0,943	-0,202	0,647	0,243	0,8	0,913	0,89	0,812	0,729	0,407	0,446	1		
$\text{K}^+$	0,525	-0,291	0,267	0,128	0,445	0,449	0,378	0,232	0,338	0,381	-0,045	0,268	1	
Fe_t	0,215	-0,245	0,605	0,932	0,082	0,187	0,244	0,211	0,18	-0,141	-0,063	0,222	0,073	1

### 3.3 Hydrochemical facies

The Piper diagram reveals a clear hydrochemical diversity of groundwater within the study area, reflecting different degrees of water–rock interaction and geochemical evolution (Figure 2). The dominant facies (36%) is the calcium–magnesium bicarbonate type, indicating the

prevalence of carbonate weathering processes and relatively fresh groundwater influenced by direct water–rock interaction (Abdourazakou 2022). About 29% of samples belong to sodium–potassium chloride and sodium sulfate facies, suggesting a higher level of mineralization, which may result from ion exchange processes and possible anthropogenic influences such as agricultural and domestic activities. A further 14% corresponds to the sodium–potassium bicarbonate facies, reflecting more evolved groundwater systems where cation exchange processes are more advanced.

Finally, 21% of the samples are classified as calcium–magnesium chloride and sulfate facies, indicating mixed water types influenced by evaporitic mineral dissolution and secondary geochemical processes. Overall, the distribution of hydrochemical facies highlights a transition from fresh, carbonate-dominated waters to more evolved and mineralized groundwater, controlled by both natural geochemical processes and localized human impacts.

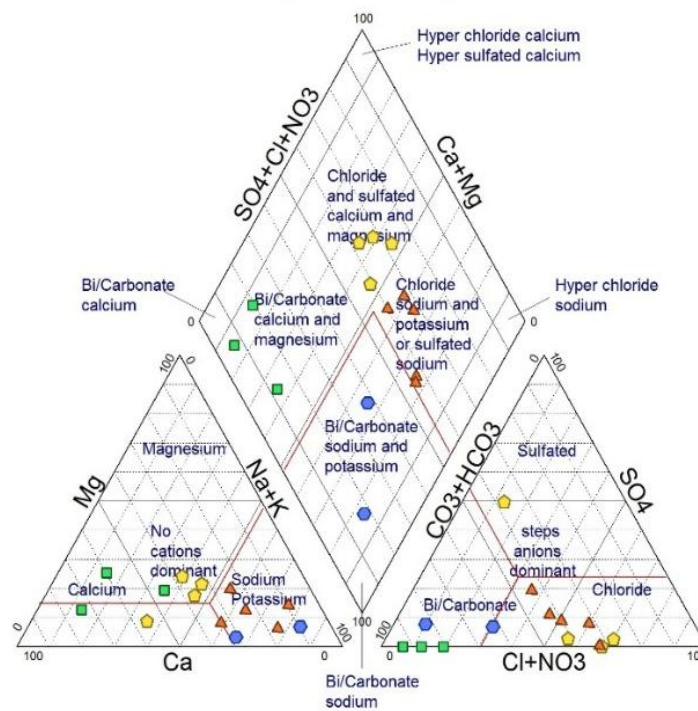


Figure 2. Diagram of Piper

### 3.4 Irrigation water suitability

The suitability of groundwater for irrigation in the study area was evaluated using the Wilcox diagram (Figure 3), which classifies water based on salinity hazard (electrical conductivity) and sodium hazard (sodium adsorption ratio). The results show that the majority of samples fall within the “Excellent to Good” and “Good to Permissible” categories, indicating that groundwater generally presents low to moderate salinity levels and a limited sodium hazard. This suggests that, in most locations, groundwater can be safely used for irrigation without

significant risk of soil structure degradation or reduction in soil permeability. The relatively low sodium levels help maintain soil aggregation, while moderate salinity does not yet reach thresholds that could negatively affect most crops. However, a few samples approach the permissible to doubtful classes, mainly in areas with higher mineralization. This condition may be linked to intense water–rock interaction, evaporation processes, and localized anthropogenic inputs, which increase salt concentration in groundwater. If such trends persist, there could be a gradual risk of soil salinization and reduced agricultural productivity, particularly in sensitive irrigated areas.

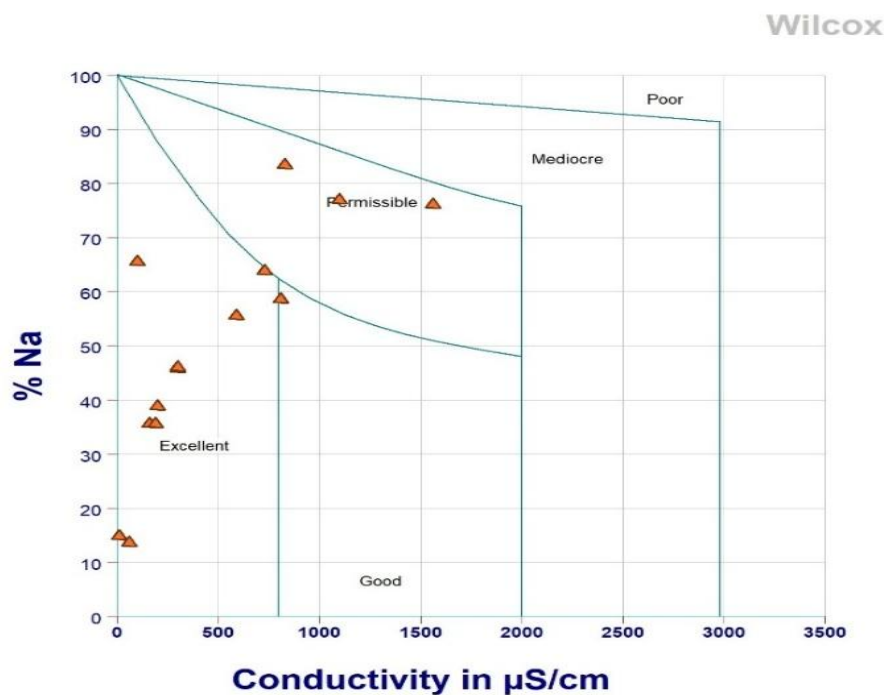


Figure 3 : Wilcox diagram

#### 4. CONCLUSION

This study evaluated groundwater quality in the Dallol Bosso alluvial aquifer (Tondikandia and Imanan). Results show low to moderate mineralization with spatial variability influenced by natural and human factors. The dominant hydrochemical facies is calcium–magnesium bicarbonate, linked to water–rock interactions, while sodium–chloride and sulfate facies in some areas indicate more advanced processes and possible anthropogenic inputs. Most water quality parameters meet WHO drinking standards ; however, high nitrate levels in over half of the samples reveal significant contamination from agriculture, livestock, and poor sanitation. Localized fluoride enrichment of natural origin also poses health risks. Overall, groundwater

quality is acceptable but locally degraded, highlighting the need for monitoring and better management practices.

## REFERENCES

- Adimalla, N., & Li, P. (2019). Hydrogeochemical evaluation of groundwater quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 19073–19085. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05491-8>
- Abdourazakou, M.H & Firat Ersoy, A. (2022). Hydrogeochemical and isotopic investigations on the origins of groundwater salinization in Çarşamba coastal aquifer (North Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 81(4), 128. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10248-5>
- Barbiero, L., & Valles, V. (1992). Geochemical aspects of soil alkalization in the Dallol Bosso valley (Niger).
- Güler, C., & Thyne, G. D. (2004). Hydrochemical facies evolution of groundwater. *Journal of Hydrology*, 299, 30–57. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.05.018>
- Hassan, A.M., Firat Ersoy, A. Statistical assessment of seasonal variation of groundwater quality in Çarşamba coastal plain, Samsun (Turkey). *Environ Monit Assess* **194**, 135 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09791-2>
- Institut National de la Statistique (INS), Tillabéri Regional Directorate. (2016). Monograph of the Tillabéri region
- Lapworth, D. J., et al. (2017). Urban groundwater quality in sub-Saharan Africa. *Hydrogeology Journal*, 25, 1093–1116. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1518-6>
- MacDonald, A. M., et al. (2021). Groundwater and resilience to climate change in Africa. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 551–565. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00181-7>
- Mainassara, I. (2010). *Water resources in the Tillabéri region (Southwestern Niger) and their potential for development through irrigated agriculture* (Master's thesis, Specialized Master's in Integrated Water Resources Management).
- Ravenscroft, P., et al. (2018). *Groundwater contamination and public health*. Philosophical Transactions A, 376. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0261>
- Taylor, R. G., et al. (2013). *Ground water and climate change*. *Nature Climate Change*, 3, 322–329. <https://doi.org/10.1038/nclimate1744>
- World Health Organization (WHO) & UNICEF. (2017). *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. Geneva: WHO.

## IMPACT OF CRUDE OIL CONTAMINATION ON SOIL FUNCTIONALITY AND PHYTOREMEDIATION STRATEGIES : CASE STUDY OF AGADEM SITE AND ALONG THE PIPELINE CORRIDOR, NIGERA

### Dr. Ibrahim ELHADJI DAOU

School of Mines, Industry and Geology (EMIG) of Niamey, Department of Mining Engineering and Environment, 732 Lamordé, Niamey

ORCID ID: 0000-0002-4913-6799

### Dr. Roufaï Haladou Oumarou

Faculty of Agronomic and Ecological Sciences, 78, Diffa

ORCID ID: 0009-0005-0505-0781

### Dr. Abdourazakou MAMAN HASSAN

School of Mines, Industry and Geology (EMIG) of Niamey, Department of Mines-Geology, 732 Lamordé, Niamey

ORCID ID: 0000-0001-8458-6149

### Abstract

The Oil contamination in arid environments poses a critical threat to soil functionality and groundwater quality. This study investigates the physicochemical properties of crude oil-contaminated soils in Niger, focusing on the Agadem oilfield and pipeline areas affected by sabotage. Soils are predominantly sandy (67-78%), with moderate silt and low clay contents, promoting high permeability and facilitating hydrocarbon migration. Chemical analyses reveal variable organic matter (1.92-5.76%) and total nitrogen (0.12-0.32%) contents, alongside elevated C/N ratios (9.10-10.57), reflecting slow mineralisation and accumulation of recalcitrant carbon. Nutrient assessments show limited fertility, with low available phosphorus (2.50–17.20 mg/kg) and exchangeable potassium (0.01–0.04 ppm), exacerbated by slightly acidic pH (5.11–5.25) and low electrical conductivity (4–14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Total petroleum hydrocarbon (TPH) levels ranging from 3 to 10% confirm severe contamination. Strong positive correlations between TPH, organic matter, and nitrogen ( $r = 0.85-0.87$ ) indicate accumulation of poorly biodegradable carbon, while the correlation between TPH and C/N ( $r = 0.74$ ) highlights microbial limitations. Negative correlations with phosphorus and potassium ( $r = -0.30$  and  $-0.19$ ) reflect nutrient depletion caused by hydrocarbon stress. Overall, the combination of coarse texture, acidity, and nutrient limitation renders these soils highly vulnerable, with severely constrained natural recovery potential. These findings underscore the urgent need for targeted remediation strategies, particularly phytoremediation coupled with organic amendments, to restore soil functionality, stimulate microbial activity, and accelerate hydrocarbon degradation in Sahelian environments.

**Keywords:** Crude oil contamination, Soil physicochemical properties, Total petroleum hydrocarbons.

## Introduction

Soil contamination by crude oil represents a critical environmental challenge in regions dedicated to hydrocarbon exploration, transport, and processing. Whether arising from technical leakages, accidental spills, or deliberate pipeline interference, such contamination inflicts persistent damage on terrestrial ecosystems [1, 2, 3]. Once infiltrated, hydrocarbons fundamentally restructure the soil matrix, altering its pH, nutrient availability, and innate biological regenerative capacity [4]. These disturbances severely impair edaphic fertility, agricultural productivity, and the self-restoration mechanisms of impacted environments [5].

In the specific context of Niger—notably within the Agadem region and along the export pipeline corridor—the sandy-loam Sahelian soils exhibit extreme vulnerability to petroleum-based pollutants. The confluence of semi-arid climatic conditions, deficient organic matter content, and high soil permeability facilitates the rapid vertical migration of contaminants, thereby compromising ecological sustainability and soil health [6, 7]. Consequently, investigating these impacted areas is essential to quantify alterations in soil structure and composition, ultimately informing rehabilitation strategies tailored to the Sahelian landscape.

Chemically, hydrocarbon infiltration is frequently associated with an apparent surge in total carbon (C) and organic matter (OM) concentrations; however, this fraction is largely recalcitrant and non-biodegradable. This phenomenon induces a significant imbalance in the C/N ratio, a depletion of assimilable phosphorus, and a disruption of biogeochemical cycles, which collectively diminish the soil's fertility and recovery potential [9]. The quantification of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) continues to rely on conventional gravimetric methods—noted for their reliability in detecting heavy fractions, though prone to underestimating volatile compounds. Complementary techniques, such as chromatography or infrared spectroscopy, are therefore necessary for high-resolution molecular speciation.

Recent literature advocates for integrated remediation frameworks that combine bioremediation and phytoremediation with the application of organic amendments (e.g., biochar, compost) and, where necessary, bioaugmentation [12, 13, 14]. These strategies demonstrate particular efficacy in sandy soils characterized by low cation exchange capacity (CEC), typical of the Agadem pedological context [9]. Nevertheless, comprehensive studies establishing the correlations between soil texture, multi-elemental chemical parameters (C, OM, N, P, K, pH, EC), and TPH concentrations remain scarce for Sahelian environments.

To address this gap, the present study aims to characterize hydrocarbon-contaminated soils in Niger to evaluate their textural and chemical modifications. Furthermore, it seeks to identify

the statistical correlations between TPH levels and soil properties to propose evidence-based ecological remediation guidelines adapted to the Sahel. This environmental analysis provides critical local data essential for understanding petroleum pollutant dynamics and fostering the sustainable management of impacted land.

#### Materials and Methods

##### Study area

The research was conducted within the Agadem oil field (Figure 1) and along the associated pipeline corridor situated in the eastern Niger basin. As a primary production hub for the country, this region is bisected by the strategic export pipeline connecting Agadem to Zinder. The vulnerability of this infrastructure to technical failures and external interference poses a constant risk of hydrocarbon leakages, leading to the chronic contamination of the adjacent soil systems [6, 7].

The regional climate is classified as Sahelian with a semi-arid character, defined by an extensive dry season and a brief, concentrated rainy season. High thermal conditions persist year-round, supporting a vegetative cover primarily composed of sparse rangeland grasses. Pedologically, the area is dominated by sandy to sandy-loam soils. These substrates are characterized by low organic matter content and high hydraulic permeability—a combination that significantly enhances the vertical and lateral mobility of hydrocarbons following a spill event.

Figure 1 shows the area under study.

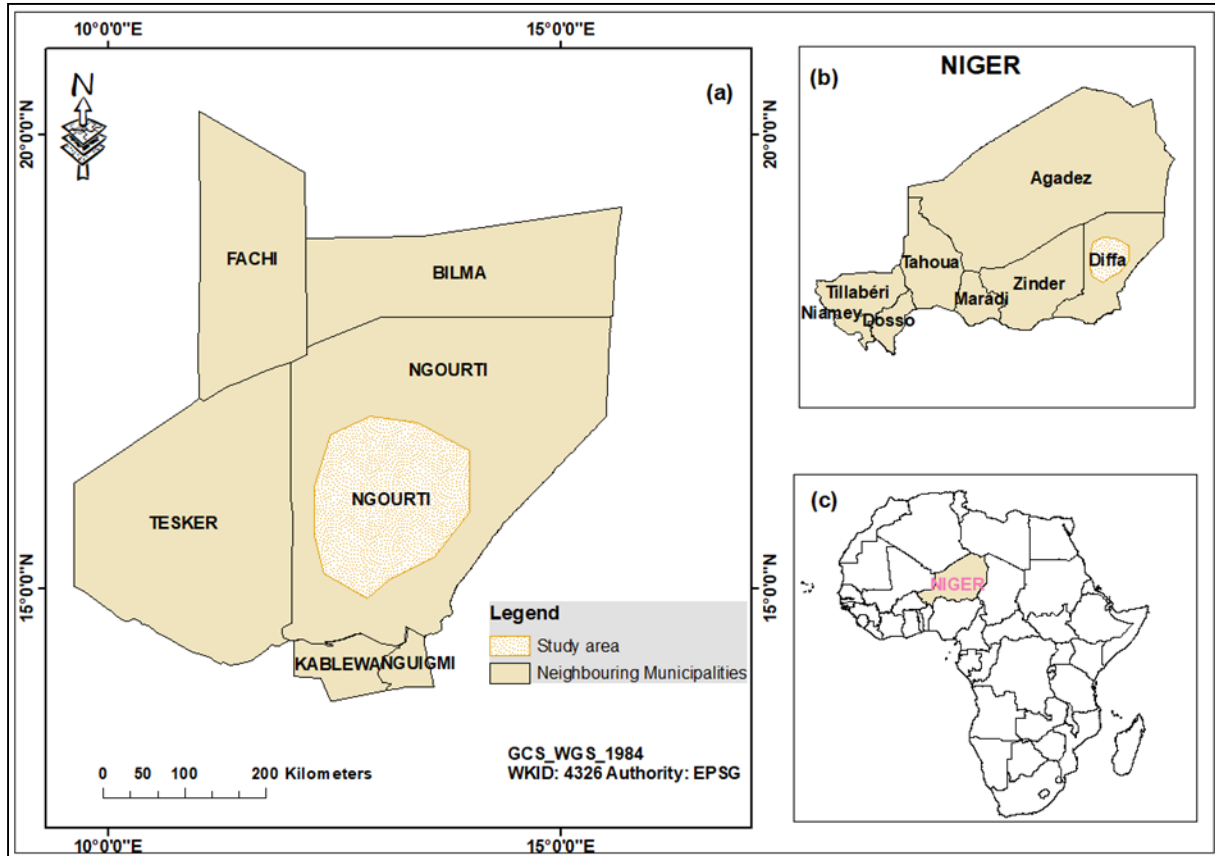


Figure 1 (a) Location of the study area, (b) in Niger and (c) in West Africa  
Soil sampling

To ensure soil representativeness, samples were taken according to standardised protocols described in scientific and technical literature. Sub-samples (several homogeneous points) were combined to form composite samples, in accordance with the recommendations of the Soils4Africa protocol (0–20 cm) [15]. After homogenisation, the samples were dried, ground and sieved to 2 mm according to the practices described in the Gissol manuals [16]. In addition, the methodology follows FAO principles for labelling, sampling depth and sample storage [17]. These multiple approaches reduce sampling error and ensure good representativeness of the soil's physico-chemical parameters. These samples were analysed at the Soil and Surface Dynamics Laboratory (LSDS) of the Faculty of Agronomy at Abdou Moumouni University in Niamey and at the Research Laboratory in Geosciences and Environment at EMIG.

#### Particle size analyses

Soil texture was determined using the Robinson pipette method after dispersing the aggregates using a dispersant (sodium hexametaphosphate). This method is considered a benchmark for analysing soil particle size distribution, particularly for clay and silt fractions [18]. The percentages of clay, silt and sand were used to classify the soils according to the USDA textural

triangle [19], which made it possible to distinguish dominant textures ranging from sandy loam to silty sand, indicating high permeability and low pollutant adsorption capacity.

#### Chemical analyses

Chemical analyses of the soil were carried out to determine the main parameters related to the quality and fertility of the contaminated soil. All measurements were carried out in accordance with the standard protocols described by [20] and AFNOR, in order to ensure the comparability and reliability of the results.

#### Organic carbon (C%)

Organic carbon was determined using the classic method described in [21], based on the oxidation of organic carbon by potassium dichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ) in a concentrated sulphuric acid medium, followed by titration with ferrous sulphate ( $FeSO_4$ ). Although this method slightly underestimates refractory carbon-rich soils, it remains the benchmark for tropical and semi-arid soils.

#### Organic matter (OM%)

Organic matter was estimated from organic carbon by applying the conversion factor  $OM = C \times 1.72$ , in accordance with the recommendation of the Soil Survey Staff [20]. This factor assumes that organic matter contains approximately 58% carbon.

#### Total nitrogen (N%)

Total nitrogen was measured using the Kjeldahl method, which involves acid digestion of the soil with concentrated sulphuric acid ( $H_2SO_4$ ) in the presence of a catalyst ( $CuSO_4 + Se$ ), followed by distillation with soda ( $NaOH$ ) and titration with boric acid. This method quantifies total organic and ammoniacal nitrogen.

#### C/N ratio

The C/N ratio was calculated as the quotient between organic carbon and total nitrogen. This ratio is a key indicator of the degree of decomposition and availability of nitrogen in the soil, directly influencing the mineralisation of organic matter.

#### Assimilable phosphorus (P)

Assimilable phosphorus was extracted using the Bray I method, adapted for acidic soils. The extract was then analysed colorimetrically using the method described in [22], which is based on the formation of a blue molybdenum-phosphorus complex measured at 882 nm using a UV-Visible spectrophotometer.

#### Exchangeable potassium (K)

Exchangeable potassium was extracted using a 1 N ammonium acetate solution (pH 7) and then quantified by flame photometry. This method allows direct measurement of the potassium available to plants.

#### pH (H<sub>2</sub>O)

The pH of the soil was measured in a soil/water suspension (1:2.5) after stirring for 30 minutes and decanting, using a digital pH meter calibrated at pH 4.00 and 7.00. This measurement reflects the overall reaction of the soil and its influence on nutrient availability.

#### Electrical conductivity (EC)

Electrical conductivity was determined on a soil/water suspension (1:5) using a conductivity meter. It expresses the total concentration of dissolved salts (mS/cm), which is an indicator of soil salinity and leaching.

#### Total petroleum hydrocarbon (TPH) analysis

The total petroleum hydrocarbon (TPH) content was determined by gravimetric extraction, a method still widely used in recent studies on contaminated soils. Several studies confirm the effectiveness of extraction with organic solvents, particularly n-hexane, followed by evaporation and weighing of the residue to quantify TPH. For example, procedures based on extraction with a DCM/hexane mixture, combining mechanical agitation, filtration and evaporation under gentle heat, have been described in the literature [23]. Similar protocols, based on the extraction of 10 g of dry soil with hexane followed by filtration and evaporation of the solvent before weighing the residue, have also been reported [24]. More recently, work based on the recommendations of the EPA 9071B method has confirmed the relevance of hexane extraction followed by evaporation concentration for the gravimetric determination of TPH [25]. Furthermore, a recent methodological review emphasises that gravimetry remains a reference technique for quantifying heavy hydrocarbons in soils due to its robustness and adaptability to heavily contaminated matrices [26].

#### Statistical analysis and correlation

The data were processed using Microsoft Excel, IBM SPSS Statistics 25 and ArcGIS software to produce maps. A Pearson correlation analysis was performed to assess the relationships between physicochemical parameters (C, OM, N, P, K, pH, EC) and TPH concentrations in order to identify possible interactions between contamination and soil quality [7]. The significance thresholds adopted were:  $p < 0.10$  (significant trend),  $p < 0.05$  (significant),  $p <$

0.001 (highly significant). The results were presented in the form of a correlation matrix with coefficients and significance levels.

Results and discussions

Soil particle size distribution

The particle size distribution of the soils sampled in six (6) sections is presented in Table 1. It highlights the predominance of sandy fractions, characteristic of Sahelian soils, with varying proportions of silt and clay depending on the sampling points.

Table 1 Soil particle size distribution (%)

Sites	Clay	Fine lemon	Coarse limon	Fine sand	Medium sand	Coarse sand
S1	8.55	2.01	11.06	30.53	36.99	10.86
S2	8.05	11.57	7.54	25.90	36.81	10.13
S3	8.50	3.00	21.50	25.35	30.56	11.09
S4	10.11	4.05	14.16	22.24	36.34	13.10
S5	10.15	7.10	12.18	12.68	36.54	21.35

Site S1 has the highest proportion of fine sand (30.53%) and medium sand (36.99%), while site S5 has the highest proportion of coarse sand (21.35%). Site S2 shows a notable concentration of fine silt (11.57%), contrasting with site S3, which has the highest proportion of coarse silt (21.50%). Sites S4 and S5 have the highest clay content (10.11% and 10.15% respectively). These variations in the distribution of grain size fractions directly influence the retention and mobility properties of pollutants within each site.

Table 1 illustrates the textural classification of the samples according to the USDA triangle, which distinguishes between the dominant textures of silty sand to sandy silt. These classes reflect high permeability and low adsorption capacity, conditions that favour the vertical mobility of hydrocarbons in the soil profile. Table 2 presents the particle size distribution in three (3) ranges.

Table 2 Particle size distribution

Sites	CLAY (%)	LIMON (%)	SABLE (%)
S1	8.55	13.07	78.38
S2	8.05	19.11	72.84
S3	8.5	24.5	67
S4	10.11	18.21	71.68
S5	10.15	19.28	70.57

The grain size analyses carried out on five composite samples (S1–S5) reveal a clear dominance of the sand fraction, with proportions ranging from 67.00% (S3) to 78.38% (S1). Total silt (fine silt + coarse silt) varies from 13.07% (S1) to 24.50% (S3), while the clay fraction remains low, ranging from 8.05% (S2) to 10.15% (S5). Projection of the data onto the USDA texture triangle indicates that the five samples are mainly in the silt loam to sandy loam classes. More

specifically, S1 is close to the silt loam limit, reflecting a very sandy texture characterised by a low proportion of fine particles, while S2, S3, S4 and S5 belong to the silty sand class, indicating a predominance of sand but with a sufficient proportion of silt (approximately 18 to 25%) to slightly increase the adsorption capacity compared to S1. These results confirm that texture, dominated by sand, plays a decisive role in the dynamics of hydrocarbon retention and transfer in Agadem soils, in line with the observations of [11].

The predominance of sand indicates the presence of relatively large pores and high permeability. These characteristics promote rapid water infiltration and facilitate the vertical migration of poorly adsorbed contaminants, thereby increasing the risk of transfer to the groundwater when it is shallow [27]. The low proportion of clay, combined with a moderate silt content, limits the specific adsorption surface area and therefore the ability of fine particles to retain hydrophobic contaminants. However, the more balanced texture of site S3, which has the highest silt content (approximately 24.5%), gives this soil a better relative ability to trap hydrocarbons and other organic compounds [28].

Sandy-loam soils are generally well aerated, which promotes aerobic microbial activity, but their low water retention capacity limits the persistence of a moist and nutritious environment essential for sustained biodegradation. To improve the performance of bioremediation processes in such contexts, the addition of organic amendments or appropriate water management is often necessary to maintain conditions favourable to microbial activity [29]. Finally, the low variation in clay, combined with moderate differences in silt and sandy grain size between sites, suggests the influence of local processes such as wind deposits, the nature of the parent material and microtopography. To better assess the vertical migration of hydrocarbons, it is recommended that this study be supplemented with stratified core sampling (0–20, 20–50, >50 cm) to examine the distribution of contaminants in the soil profile [30].

#### Chemical analysis

Table 3 presents the main chemical characteristics of the soils studied, including organic carbon (C), organic matter (OM), total nitrogen (N), C/N ratio, available phosphorus (P), exchangeable potassium (K), pH and electrical conductivity (EC).

Table 3 Chemical characteristics

Sites	Carbon %	MO %	Azote %	C/N	P (ass)	K (PPM)	pH(eau)	CE (µS/cm)	TPH %
S1	1.84	3.16	0.19	9.91	6.18	0.02	5.11	7	3
S2	3.35	5.76	0.32	10.57	2.50	0.02	5.25	6	10
S3	1.28	2.20	0.14	9.35	17.20	0.01	5.19	4	4
S4	1.12	1.92	0.12	9.10	2.50	0.04	5.14	14	5

S5	1.12	1.92	0.12	9.10	2.50	0.04	5.14	14	3
----	------	------	------	------	------	------	------	----	---

Chemical analyses of the soil show that the five composite samples have organic carbon contents ranging from 1.12% to 3.35%, while organic matter varies from 1.92% to 5.76%. Total nitrogen ranges from 0.12% to 0.32%, with a C/N ratio ranging from 9.10 to 10.57. These values reflect moderate mineralisation activity of organic matter, indicating a balance between carbon decomposition and stabilisation processes [31]. The low nitrogen content, combined with a predominantly sandy texture, suggests that the nitrogen fertility of these soils is naturally limited and probably exacerbated by the presence of hydrocarbons. Indeed, oil contamination often introduces non-biodegradable carbon, which artificially increases the apparent organic matter content without actually improving the nutritional quality of the soil [32].

The levels of available phosphorus vary greatly from one site to another, ranging from 2.50 mg/kg to 17.20 mg/kg, reflecting marked heterogeneity in local conditions. This variability may result from differences in the nature of the parent material, the mobility of phosphorus or its retention on metal oxides. The slightly acidic pH, ranging from 5.11 to 5.25, promotes the fixation of phosphorus on iron and aluminium oxides, thereby reducing its availability to plants. As for exchangeable potassium, it remains extremely low (0.01 to 0.04 ppm), which is characteristic of coarse-textured soils with low cation exchange capacity. Hydrocarbon pollution exacerbates this deficit by limiting ion exchange between the solid phase and the soil solution, a phenomenon already observed in several studies on contaminated sandy-loam environments [33].

The slightly acidic pH confirms a low buffering capacity, typical of soils poor in clay and stable organic matter. This moderate acidity limits the availability of certain essential nutrients and reduces the effective cation exchange capacity, thus affecting overall fertility. The electrical conductivity, between 4 and 14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicates negligible salinity, suggesting that, despite the presence of hydrocarbons, ionic pollution remains low or that soluble ions are rapidly leached in these highly permeable profiles [31].

Total hydrocarbon (THC) levels, determined using the gravimetric method, vary from 3% to 10%. These levels indicate significant contamination, particularly at sites with levels close to 10%, where the physical and biological properties of the soil are clearly impaired. It should be noted, however, that the gravimetric method may underestimate light volatile fractions, but it remains a robust approach for assessing heavy hydrocarbon contamination in sandy soils.

Overall, the combination of a very sandy texture, a low proportion of clay and silt, a moderately acidic pH and low nutrient content shows that these soils are particularly vulnerable to oil

contamination. The presence of hydrocarbons exacerbates this fragility by altering soil structure, disrupting biogeochemical cycles and reducing water and nutrient retention capacity. These results highlight the need to adopt integrated remediation strategies, including the addition of organic amendments and the implementation of phytoremediation using adapted local species, in order to restore the ecological functions of the soil and limit the migration of pollutants to deeper horizons.

The levels observed reveal marked variability between sampling points. Carbon and organic matter concentrations are generally high in areas with high TPH content, while phosphorus and potassium levels are low, indicating a decline in the chemical fertility of contaminated soils.

Pearson correlation between the analysed parameters

Figure 2 illustrates the Pearson correlation matrix between TPH and the physico-chemical parameters of the soil in the form of a heat map. This visual representation allows the identification of linear relationships between variables, where intensity and colour (green for positive correlations, red for negative correlations) reflect the strength and direction of the associations, highlighting the indicators most sensitive to oil contamination.

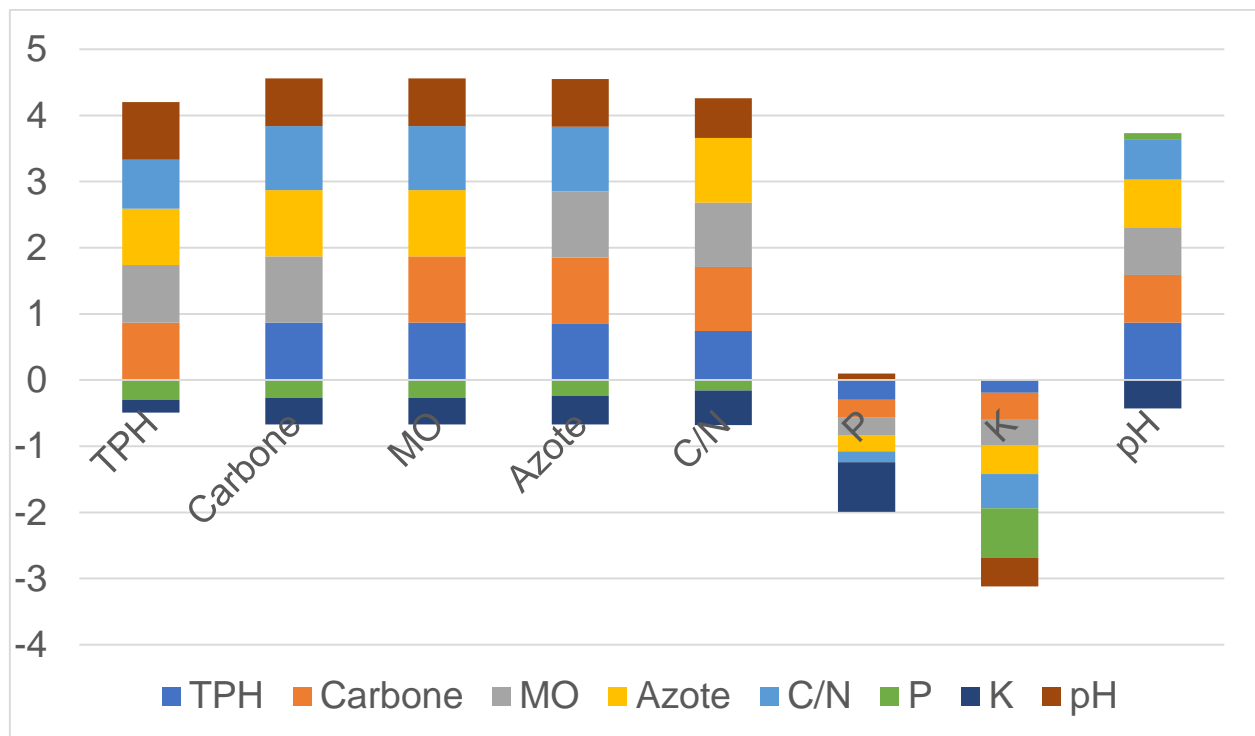


Figure 2 Correlation matrix (heatmap) between soil physicochemical parameters. The correlations observed between soil physicochemical parameters (Figure 3) show clear relationships between hydrocarbon contamination (TPH) and the organic and nutrient properties of soils. The dark green areas of the heatmap indicate strong positive correlations, particularly between TPH, total carbon ( $r = 0.87$ ), organic matter ( $r = 0.87$ ) and total nitrogen

( $r = 0.85$ ), reflecting a strong interdependence between contamination and apparent enrichment in carbon compounds. This behaviour is often attributed to the accumulation of petroleum-derived carbon and the adsorption of hydrocarbons onto existing organic matter, which artificially increase total carbon without improving actual soil fertility [8, 32].

The C/N ratio also shows a notable positive correlation with TPH ( $r = 0.74$ ;  $p < 0.10$ ), indicating a nutrient imbalance in contaminated areas. This increase in C/N reflects a slowdown in the mineralisation of organic matter, typical of environments where hydrocarbons block microbial activity and reduce the bioavailability of nitrogen [9].

Conversely, assimilable phosphorus (P) shows a negative correlation ( $r = -0.30$ ) with TPH, reflecting a reduction in its availability in contaminated soils. This phenomenon is linked to the fixation of phosphorus on metal oxides and the disruption of the biogeochemical cycle of P in the presence of hydrocarbons [8]. Exchangeable potassium (K) also shows a more pronounced but insignificant negative correlation ( $r = -0.19$ ), indicating low ion retention in these sandy-loam soils with low cation exchange capacity [34].

The pH shows a significant positive correlation with TPH ( $r = 0.87$ ;  $p < 0.10$ ), suggesting a slight alkalinisation of the most contaminated soils. This behaviour may result from the presence of bases produced by the partial degradation of hydrocarbons or from a reduction in acidogenic microbial activity [8]. However, as electrical conductivity (EC) is not significantly correlated with TPH, it does not appear to be a relevant indicator of oil contamination in these highly permeable soils.

Overall, the significant correlations ( $p < 0.10$  and  $p < 0.001$ ) between TPH and organic variables (OM, N) confirm that increased contamination is accompanied by a disruption of nutrient cycles, particularly the C/N ratio and phosphorus. These interactions reflect a functional loss of soil and justify the implementation of integrated decontamination strategies, such as phytoremediation assisted by organic amendments, promoting the restoration of biogeochemical cycles and the stimulation of hydrocarbonoclastic microflora [8].

#### Textural ratio and TPH

Figure 3 illustrates the main relationships between TPH and textural parameters, highlighting the most significant trends and their level of significance.

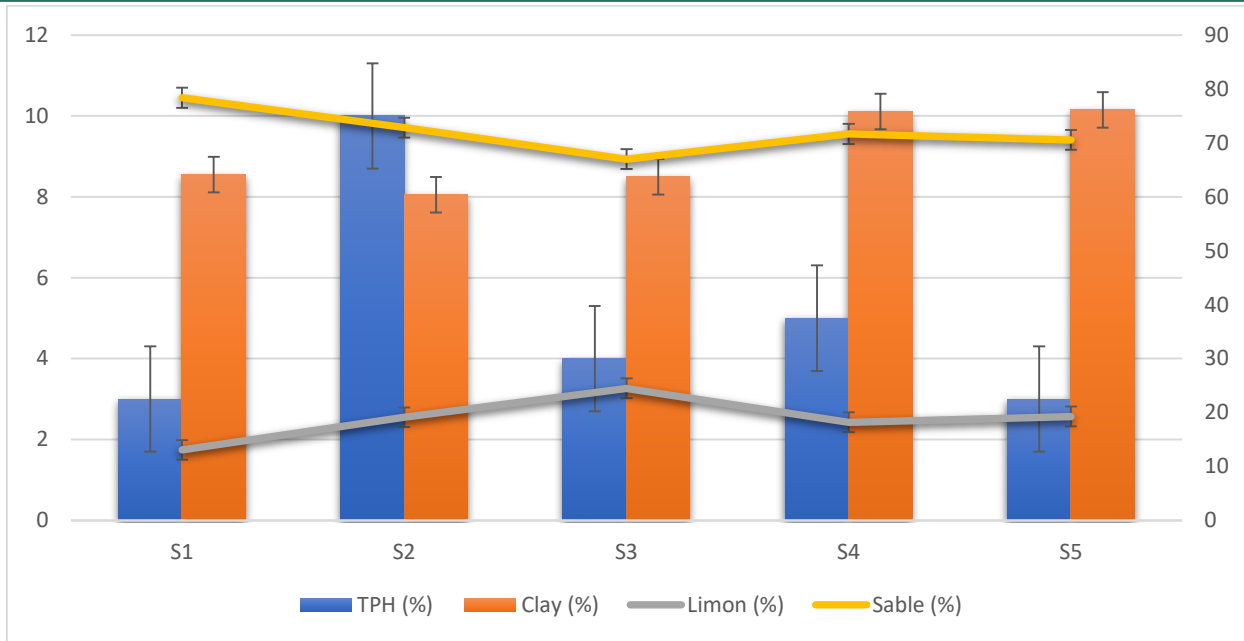


Figure 3 Grain size distribution and TPH concentrations across study sites Comparative visualisation reveals a significant inverse relationship between sand content and hydrocarbon concentration. Site S2, which has the highest contamination (10% TPH), is characterised by the lowest proportion of sand (73%) and the highest silt content (19%) among all samples.

Fine soil fractions (silt) promote hydrocarbon retention by increasing specific surface area and adsorption capacity; this trend has been documented by [28, 35], unlike predominantly sandy soils where high permeability facilitates the leaching of pollutants.

The homogeneous distribution of clays (8-10%) across all sites suggests that the variability in TPH content is mainly controlled by the silt fraction, confirming the importance of textural properties in trapping petroleum contaminants.

Overall, granulometric, chemical and correlational analysis reveals that the combination of sandy texture, low nutrient content and high hydrocarbon contamination compromises the quality and resilience of Agadem's soils. These results provide an essential scientific basis for choosing remediation strategies adapted to the Sahelian context.

### Conclusion

This study provides a comprehensive environmental assessment of crude oil-contaminated soils in Niger, utilizing a multidimensional characterization framework that integrates physical properties, chemical composition, and Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) concentrations. By synthesizing analytical measurements with statistical correlations, this research elucidates the critical interdependence between soil texture, nutrient profiles, and the retention dynamics of hydrocarbons within the soil matrix.

The analytical results reveal significant contamination levels (3–10% TPH) within predominantly sandy substrates. These areas are further characterized by pronounced acidity (pH 5.1–5.3) and a severe depletion of essential macronutrients (N, P, K). The strong positive correlations identified between TPH, organic matter, and total carbon underscore a substantial accumulation of recalcitrant, non-biodegradable organic compounds. Furthermore, the observed relationships between TPH, pH, and the C/N ratio emphasize the decisive role that physicochemical conditions play in the long-term persistence of hydrocarbons in the environment.

This integrated assessment provides a scientific justification for the implementation of bioremediation strategies specifically calibrated for Sahelian conditions. Recommended interventions include pH adjustment (liming), balanced fertilization to restore nutrient cycles, and targeted microbial biostimulation. Ultimately, these findings offer a robust scientific and decision-making framework to guide national policies for the sustainable management and ecological restoration of oil-polluted lands in Niger.

## References

- S. S. A. Al-Qadir, A. K. Al-Ali, et B. H. Soltan, « Monitoring Soil Contamination by Hydrocarbons and Heavy Metals in Parts of Basra Southern Iraq Using Remote Sensing and GIS Techniques », *Iraqi Geol. J.*, p. 29-42, avr. 2023, doi: 10.46717/igj.56.1D.3ms-2023-4-12.
- M. M. Bahar, S. V. A. C. Samarasinghe, D. Bekele, et R. Naidu, « Residual hydrocarbons in long-term contaminated soils: implications to risk-based management », *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 31, n° 15, p. 22759-22773, mars 2024, doi:10.1007/s11356-024-32593-7.
- A. Melzi, S. Zecchin, S. Gomasasca, A. Abruzzese, et L. Cavalca, « Ecological indicators and biological resources for hydrocarbon rhizoremediation in a protected area », *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, avr. 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1379947.
- A. Truskewycz *et al.*, « Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems—Fate and Microbial Responses », *Molecules*, vol. 24, n° 18, p. 3400, sept. 2019, doi: 10.3390/molecules24183400.
- T. Münzel, O. Hahad, A. Daiber, et P. J. Landrigan, « Soil and water pollution and human health: what should cardiologists worry about? », *Cardiovasc. Res.*, vol. 119, n° 2, p. 440-449, juin 2022, doi: 10.1093/cvr/cvac082.
- D. Daâssi et F. Qabil Almaghribi, « Petroleum-contaminated soil: environmental occurrence and remediation strategies », *3 Biotech*, vol. 12, n° 6, p. 139, juin 2022, doi: 10.1007/s13205-022-03198-z.
- C. N. Eze, P. I. Orjiakor, et U. J. Ebeifenadi, « Changes in soil microbial respiration and physicochemical properties following bonny light crude oil contamination of sandy loam soil », *Ife J. Sci.*, vol. 22, n° 1, p. 153-163, mai 2020, doi: 10.4314/ijfs.v22i1.15.
- W. Jia *et al.*, « Response of the soil microbial community to petroleum hydrocarbon stress shows a threshold effect: research on aged realistic contaminated fields », *Front. Microbiol.*, vol. 14, juin 2023, doi: 10.3389/fmicb.2023.1188229.
- B. A. Mekonnen, T. A. Aragaw, et M. B. Genet, « Bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil: a review on principles, degradation mechanisms, and advancements », *Front. Environ. Sci.*, vol. 12, févr. 2024, doi: 10.3389/fenvs.2024.1354422.

- L. Shi, Z. Liu, L. Yang, et W. Fan, « Effects of oil pollution on soil microbial diversity in the Loess hilly areas, China », *Ann. Microbiol.*, vol. 72, n° 1, p. 26, juill. 2022, doi: 10.1186/s13213-022-01683-7.
- H.-R. Mao *et al.*, « Dual role of silt and clay in the formation and accrual of stabilized soil organic carbon », *Soil Biol. Biochem.*, vol. 192, p. 109390, mai 2024, doi: 10.1016/j.soilbio.2024.109390.
- H. Fang, C. Zhou, D.-X. Guan, M. Azeem, et G. Li, « Synergistic Approaches for Sustainable Remediation of Organic Contaminated Soils: Integrating Biochar and Phytoremediation », *Agriculture*, vol. 15, n° 8, p. 905, janv. 2025, doi: 10.3390/agriculture15080905.
- V. Mazzurco-Miritana *et al.*, « Promoting the remediation of contaminated soils using biochar in combination with bioaugmentation and phytoremediation techniques », *Sci. Rep.*, vol. 15, n° 1, p. 11231, avr. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-93879-5.
- U. Yousaf *et al.*, « Interactive effect of biochar and compost with Poaceae and Fabaceae plants on remediation of total petroleum hydrocarbons in crude oil contaminated soil », *Chemosphere*, vol. 286, n° Pt 2, p. 131782, janv. 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131782.
- E. J. Huising et S. A. Mesele, « Procédure opérationnelle permanente pour le prélèvement d'échantillons de sol et les observations sur le terrain », 2022, [En ligne]. Disponible sur: [https://africasis.isric.org/res/files/Soils4Africa\\_SOP\\_fieldsurvey\\_v02\\_FR.pdf](https://africasis.isric.org/res/files/Soils4Africa_SOP_fieldsurvey_v02_FR.pdf)
- C. Jolivet *et al.*, « Manuel du Réseau de mesures de la qualité des sols », 2018, [En ligne]. Disponible sur: [https://www.gissol.fr/wp-content/uploads/2018/03/Manuel\\_V\\_Num2.pdf](https://www.gissol.fr/wp-content/uploads/2018/03/Manuel_V_Num2.pdf)
- PARTIE C., « Évaluation de la contamination des sols ». Consulté le: 16 novembre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.fao.org/4/x2570f/X2570F04.htm> (consulté le 2025-11-16)
- B. J. P. P.D. et V. U.W.A., « A time-efficient and accurate texture analysing method for tropical soils », p. 9, avr. 2019.
- USDA, « The-Soil-Survey-Manual ». 2017.
- Soil Survey Staf, « Kellogg Soil Survey Laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 6.0. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. » 2022.
- A. Walkley et I. A. Black, « AN EXAMINATION OF THE DEGTJAREFF METHOD FOR DETERMINING SOIL ORGANIC MATTER, AND A PROPOSED MODIFICATION OF THE CHROMIC ACID TITRATION METHOD »:, *Soil Sci.*, vol. 37, n° 1, p. 29-38, janv. 1934, doi: 10.1097/00010694-193401000-00003.
- J. Murphy et J. P. Riley, « A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters », *Anal. Chim. Acta*, vol. 27, p. 31-36, janv. 1962, doi: 10.1016/S0003-2670(00)88444-5.
- M. Saad Almutairi, « Determination of total petroleum hydrocarbons (TPHs) in weathered oil contaminated soil », *Environ. Eng. Res.*, vol. 27, n° 5, p. 210324-0, oct. 2021, doi: 10.4491/eer.2021.324.
- O. Emoyan, « BIOREMEDIATION OF IN-SITU CRUDE OIL CONTAMINATED SOIL USING SELECTED ORGANIC DUNG », *Egypt. J. Chem.*, vol. 0, n° 0, p. 0-0, févr. 2020, doi: 10.21608/ejchem.2020.18048.2098.
- Y. W. Hwang, G. Y. Kim, D. Y. Kim, et Y. W. Hwang, « Life Cycle Assessment of Crude Oil-Contaminated Soil Treated by Low-Temperature Thermal Desorption and Its Beneficial Reuse for Soil Amendment », 11 septembre 2024, *Preprints: 2024090872*. doi: 10.20944/preprints202409.0872.v1.
- E. U. Ezeani, N. C. Ngobiri, et I. O. Agbagwa, « A Review of Techniques for the Determination of Total Petroleum Hydrocarbons in Soils », *Asian J. Appl. Chem. Res.*, p. 38-43, juin 2022, doi: 10.9734/ajacr/2022/v11i230254.
- FAO, *Guidelines for soil description*, 4th ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- S. Łyszczarz, J. Lasota, M. M. Szuszkiewicz, et E. Błońska, « Soil texture as a key driver of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) distribution in forest topsoils », *Sci. Rep.*, vol. 11, n° 1, p. 14708, juill. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-94299-x.

- E. Koshlaf et A. S. Ball, « Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments », *AIMS Microbiol.*, vol. 3, n° 1, p. 25-49, janv. 2017, doi: 10.3934/microbiol.2017.1.25.
- SSM, *Examination and Description of Soil Profiles Chapter 3*. 2017. Consulté le: 18 octobre 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/SSM-ch3>.
- D. A. Luz *et al.*, « Adsorptive separation of fructose and glucose from an agroindustrial waste of cashew industry », *Bioresour. Technol.*, vol. 99, n° 7, p. 2455-2465, mai 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.04.063.
- H. I. Abdel-Shafy et M. S. M. Mansour, « Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization », *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, n° 4, p. 1275-1290, déc. 2018, doi: 10.1016/j.ejpe.2018.07.003.
- A. Mukhtar *et al.*, « Phytotoxicity of different antibiotics to rice and stress alleviation upon application of organic amendments », *Chemosphere*, vol. 258, p. 127353, nov. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127353.
- X. Bi *et al.*, « Distribution characteristics of organic carbon (nitrogen) content, cation exchange capacity, and specific surface area in different soil particle sizes », *Sci. Rep.*, vol. 13, p. 12242, juill. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-38646-0.
- L. Wang, Y. Cheng, R. Naidu, et M. Bowman, « The Key Factors for the Fate and Transport of Petroleum Hydrocarbons in Soil With Related in/ex Situ Measurement Methods: An Overview », *Front. Environ. Sci.*, vol. 9, déc. 2021, doi: 10.3389/fenvs.2021.756404.

## EFFECT OF CLASS 4 LASER PHOTOBIMODULATION COMBINED WITH CIRCULATORY EXERCISE IN PAIN AND GAIT PERFORMANCE AMONG DIABETIC NEUROPATHY

<sup>1</sup>**Apoorva Pundric** (MPT student ,School of health science ,Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University ,Kanpur)

<sup>2</sup>**Dr. Adarsh Kumar Srivastav** (Assistant Professor, school of health science ,Chhatrapati Shahu Ji Maharaj university ,Kanpur)

**ORCHID ID:** 0000-0002-6808-0401

<sup>3</sup>**Dr. Khushboo Anjum (PT)** Assistant Professor, school of health science ,Chhatrapati Shahu Ji Maharaj university ,Kanpur)

**ORCHID ID:** 0000-0003-4587-9437

### ABSTRACT

Diabetes mellitus often leads to complications affecting the lower limbs, including pain, poor circulation, and impaired gait performance. This study aimed to evaluate the effect of Class IV laser photobiomodulation combined with circulatory exercises on pain and gait performance in individuals with lower limb diabetic conditions. A sample of participants diagnosed with diabetes-related lower limb issues was selected. Pain was assessed using the Visual Analog Scale (VAS), and gait performance was measured using standardized . Participants underwent a structured intervention program consisting of laser therapy and circulatory exercises over a defined period. Results showed significant improvement in pain reduction and gait performance post-intervention. The study concludes that combined therapy is effective in improving functional outcomes in diabetic patients.

### INTRODUCTION

Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder that commonly leads to complications such as peripheral neuropathy and vascular insufficiency, especially in the lower limbs. These complications often result in pain, reduced blood circulation, muscle weakness, and impaired gait. Poor gait performance increases the risk of falls and reduces the quality of life in affected individuals.

Photobiomodulation using Class IV laser therapy has gained attention due to its ability to reduce inflammation, promote tissue healing, and improve microcirculation. Additionally, circulatory exercises help enhance blood flow and muscle function. However, limited studies have evaluated the combined effect of these interventions on pain and gait performance in diabetic patients. Therefore, this study aims to explore the effectiveness of this combined approach.

### PURPOSE / OBJECTIVE

- To assess the effect of Class IV laser photobiomodulation on pain in lower limb diabetic patients.

- To evaluate the impact of circulatory exercises on gait performance.
- To determine the combined effect of both interventions on overall functional mobility.

### **MATERIALS AND METHOD**

Seven patient diagnosis with diabetic peripheral neuropathy who meet the inclusion and exclusion criteria were include in this case series all the patient received action observation training for 4 weeks .pain, gait assessed pre and post intervention using pain and gait .

#### **Inclusion Criteria:**

### **DISCUSSION**

The findings of this study support the effectiveness of Class IV laser photobiomodulation combined with circulatory exercises in managing lower limb complications in diabetic patients. Laser therapy likely contributed to pain reduction through anti-inflammatory effects and improved tissue healing. Circulatory exercises enhanced blood flow, muscle strength, and coordination, thereby improving gait performance.

### **CONCLUSION**

The study concludes that Class IV laser photobiomodulation combined with circulatory exercises is an effective intervention for reducing pain and improving gait performance in patients with lower limb diabetic conditions. This combined treatment approach can be recommended as a non-invasive and beneficial physiotherapy intervention.

Keyword :pain intensity gait

## COGNITIVE RESERVE IN LOW BACK PAIN: ESTABLISHING REFERENCE VALUES USING THE COGNITIVE RESERVE INDEX QUESTIONNAIRE

### Sachin verma

<sup>1</sup>Postgraduate Student (MPT Neurology), School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu ji Maharaj University (CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India  
ORCID Id: 0009-0007-2898-1938

### Digvijay Sharma

Assistant professor, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu ji Maharaj University (CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India  
ORCID Id: 0000-0002-6999-300X

### Adarsh Kumar Srivastav<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Assistant professor, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu ji Maharaj University (CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India  
ORCID Id: 0000-0002-6808-0401

### ABSTRACT

**Introduction and Purpose:** Low back pain (LBP) is a common musculoskeletal disorder linked to cognitive and psychosocial changes in addition to physical disability. The idea of cognitive reserve (CR) has drawn interest as a protective factor affecting a person's capacity to deal with functional and neurological deficits. A standardized tool for measuring CR is the Cognitive Reserve Index Questionnaire (CRIq); nonetheless, reference values for individuals with LBP are still poorly understood, especially in clinical groups. **Materials and Methods:** A cross-sectional study was conducted among 427 patients diagnosed with low back pain, recruited from the department of physiotherapy, school of health sciences, Chhatrapati shahuji maharaj university, Kanpur. Participants aged 18-35 year were included based on predefined inclusion and exclusion criteria. Cognitive reserve was assessed using the Cognitive Reserve Index Questionnaire (CRIq), which evaluates education, working activity, and leisure time. Descriptive statistics were used to determine reference values, and subgroup analyses were performed based on age, gender, duration of LBP, and occupational status. Statistical analysis was conducted using SPSS software, with significance set at  $p < 0.05$ . **Results:** The findings demonstrated that the mean CRIq total score among LBP patients was 103, with domain-specific scores for education, working activity, and leisure time showing variable distributions. Reference values were categorized into low, medium, and high cognitive reserve levels. Significant differences in CRIq scores were observed across age groups and occupational categories ( $p < 0.05$ ), while gender-based differences were not statistically significant. Patients with chronic LBP exhibited comparatively lower cognitive reserve scores than those with acute or subacute conditions. **Discussion and Conclusion:** This study provides preliminary reference values for the Cognitive Reserve Index Questionnaire in patients with low back pain. The

results suggest that cognitive reserve varies across demographic and clinical factors and may play a role in the functional and rehabilitative outcomes of LBP patients. These findings highlight the importance of incorporating cognitive assessment into the management of low back pain and provide a foundation for future research in this area. **Keywords:** Low Back Pain, Cognitive Reserve, Cognitive Reserve Index Questionnaire (CRIq), Cross-Sectional study, Reference Value.

## “EVALUATION OF HIGH-INTENSITY LASER THERAPY AGAINST CONVENTIONAL PHYSIOTHERAPY IN MANAGING PAIN AND FUNCTIONAL LIMITATION IN PLANTAR FASCIITIS: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL”

**Kritika mahto<sup>1</sup>**

MPT Student, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-4449-4538>

**Priya jadona<sup>2</sup>**

MPT Student, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2973-1048>

**Chandrasekhar kumar<sup>3</sup>**

Assistant professor, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9924-449X>

### ABSTRACT

**Introduction and Purpose:** Plantar fasciitis is one of the most common causes of heel pain, leading to reduced mobility and functional limitations. Although various physiotherapy interventions are used, the comparative effectiveness of High-Intensity Laser Therapy (HILT) versus conventional physiotherapy remains unclear. The purpose of this study was to evaluate and compare the effectiveness of HILT and conventional physiotherapy in reducing pain and improving functional outcomes in patients with plantar fasciitis. **Materials and Methods:** A randomized controlled trial was conducted involving patients clinically diagnosed with plantar fasciitis. Participants were randomly assigned into two groups: Group A (HILT): Received high-intensity laser therapy sessions. Group B (Conventional Physiotherapy): Received stretching exercises, ultrasound therapy, and strengthening protocols. Outcome measures included Visual Analog Scale (VAS) for pain, Foot Function Index (FFI) for functionality, and ankle dorsiflexion range of motion (ROM). Assessments were recorded at baseline and after the treatment duration of four weeks. Statistical analysis was performed to compare within-group and between-group improvements. **Results:** Both groups demonstrated significant improvement from baseline in pain and functional scores. However, the HILT group exhibited a greater reduction in VAS pain scores and more pronounced improvement in FFI and ankle ROM compared to the conventional physiotherapy group. Between-group analysis showed statistically significant differences favoring HILT. **Discussion and Conclusion:** High-Intensity Laser Therapy is more effective than conventional physiotherapy in reducing pain and enhancing functional mobility in patients with plantar fasciitis. HILT can be considered a superior therapeutic option in physiotherapy management of plantar fasciitis. **Keywords:** Plantar fasciitis; High-Intensity Laser Therapy; Conventional physiotherapy; Pain management; Functional limitation; Rehabilitation; Randomized controlled trial; Laser therapy; Foot pain; Physiotherapy intervention

## ANALYSIS OF POWER AND FLEXIBILITY OF BOTH UPPER LIMB AND LOWER LIMB AMONG PHYSIOTHERAPY STUDENT: AN OBSERVATIONAL STUDY

**Nisha Mahawar**

School of health sciences, Department of physiotherapy, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, UP, India

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-3598-4385>

### ABSTRACT

#### Introduction and Purpose:

The physiotherapy profession demands high levels of physical fitness due to the physically intensive nature of clinical tasks such as patient handling and therapeutic exercises. Many physiotherapists and students neglect personal fitness, leading to a high risk of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs). Maintaining adequate power, flexibility, and endurance is essential for safe and effective practice. The aim of the study is to evaluate the power and flexibility of both upper limb and lower limb among physiotherapy students and to evaluate whether the relationship is present or not. **Materials and Methods:** This study is a cross sectional observational study and total no. of sample size (n=152) calculated through G-power software 3.1.9.7. Both male and female (Bachelor's and Masters) Physiotherapy students of age between 20-30 years will be taken from School of Health Science of CSJM university. There was interaction with physiotherapy students according to inclusion and exclusion criteria. Written consent was given to all students for their voluntary involvement. Demographic data will be assess and for Power [Upper limb(Seated Medicine Ball Throw Test), Lower limb(Vertical Jump Test)], Flexibility [Upper limb(Apley's Scratch Test), Lower limb(Sit and Reach Test)] was taken. **Results:** The ovarian inflammation and necrosis were found to be highest in transplantation group ( $p < 0.05$ ). The comparison including all groups revealed that tissue necrosis and inflammation were unfavorably affected in HC-treated group. **Discussion and Conclusion:** The findings of the study revealed a strong positive correlation between upper limb power and lower limb power, statistically significant ( $p < 0.05$ ). This indicates that muscle power is a generalized physical attribute influenced by overall conditioning and neuromuscular efficiency. In contrast, no significant relationship was found between upper and lower limb flexibility, as the results were statistically non-significant ( $p > 0.05$ ). This suggests that flexibility is a joint-specific component that varies across different regions of the body. Furthermore, a weak positive correlation between lower limb power and flexibility was observed; however, this relationship was also statistically non-significant ( $p > 0.05$ ). This

implies that while flexibility may have a minor contribution to power, it is not a major determining factor.

Key Words: Power , Flexibility , Upper limb, Lower lim

## ANTI-INFLAMMATORY PROPERTIES OF BIOSURFACTANTS PRODUCED BY HYDROCARBONOCLASTIC BACTERIA

**Drifa YALAOUI-GUELLAL**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, University of Bouira; 10000, Bouira, Algeria

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5714-9015/>

**Lila HADIDI**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Biology, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, University of Bouira; 10000, Bouira, Algeria

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-2779-6936>

### ABSTRACT

**Introduction and Purpose:** Due to their possible biological activities, especially their anti-inflammatory qualities, biosurfactants made by hydrocarbonoclastic bacteria have drawn more attention. Thus, the current study's goal was to examine the biosurfactants produced by various bacterial strains and their anti-inflammatory properties in vitro. **Materials and Methods:** To produce biosurfactants, six bacterial strains (S1, S2, S3, S4, S5, and S12) were employed. The yield was measured, and the biosurfactant activity was tracked using the emulsification index (E24). Three in vitro tests were used to assess the anti-inflammatory efficacy of specific biosurfactants (BS1, BS2, BS3, and BS5): prevention of albumin denaturation, membrane stability against hemolysis caused by hypotonicity, and hemolysis caused by heat. **Results:** The investigated strains produced different amounts of biosurfactant, according to the data, with strain S5 producing the greatest yield (2.57 g/L). The developed biosurfactants' ability to emulsify was validated by the E24 index. With values ranging from  $91.24 \pm 0.10\%$  to  $95.43 \pm 0.07\%$ , anti-inflammatory assays demonstrated a significant suppression of albumin denaturation. The range of membrane stabilization in the hypotonicity-induced hemolysis test was  $8.26 \pm 0.09\%$  to  $18.59 \pm 0.05\%$ . Additionally, a maximal protective effect of  $51.9 \pm 0.1\%$  was demonstrated by the heat-induced hemolysis test. **Discussion and Conclusion:** The current work shows that hydrocarbonoclastic bacteria, especially strain S5, produce biosurfactants with strong anti-inflammatory properties. These results demonstrate their encouraging potential for use in pharmacology and biotechnology, particularly as natural anti-inflammatory drugs.

**Key Words:** Anti-inflammatory properties; Biosurfactants; Hydrocarbonoclastic bacteria; Emulsification index.

## EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF SLUMS VERSUS MMSE FOR COGNITIVE IMPAIRMENT SCREENING IN AN INDIAN POPULATION: A CROSS-SECTIONAL STUDY

Nidhi <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University(CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India.

ORCID ID: 0009-0005-8751-0779

Digvijay Sharma<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University(CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India.

ORCID ID: 0000-0002-6999-300X

Adarsh Kumar Srivastav<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Assistant Professor, Department of physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University(CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India.

ORCID ID: 0000-0002-6808-0401

### ABSTRACT

**Introduction and Purpose:** Cognitive impairment can adversely influence an individual's independence, functional ability, and overall well-being. Identifying such changes at an early stage is crucial for appropriate intervention and management. The Mini-Mental State Examination (MMSE) is commonly used in clinical settings; however, the Saint Louis University Mental Status (SLUMS) examination has been proposed as a more sensitive tool for detecting early or mild cognitive changes. Therefore, this study was undertaken to compare the ability of SLUMS and MMSE to identify cognitive impairment and to examine the relationship and level of agreement between these two screening measures within an Indian population.

**Materials and Methods:** A cross-sectional study was conducted among 98 participants. Both SLUMS and MMSE were administered in the same session. Data were analyzed using SPSS. The Shapiro-Wilk test indicated non-normal distribution and therefore the Wilcoxon signed-rank test was used for comparison. Agreement was assessed using Cohen's kappa, and Spearman's correlation analysis was performed to examine the relationship between scores.

**Results:** The mean SLUMS score was  $21.79 \pm 1.19$ , while the mean MMSE score was  $21.78 \pm 2.25$ . No significant difference was observed between the two tools ( $p = 0.570$ ). However, SLUMS identified a higher prevalence of cognitive impairment (98.9%) compared to MMSE (80.9%). Agreement between the tools was slight ( $\kappa = 0.094$ ,  $p = 0.069$ ). A weak but statistically significant positive correlation was found between SLUMS and MMSE scores ( $r_s = 0.227$ ,  $p = 0.028$ ). Cross-tabulation showed that MMSE tended to misclassify individuals identified as impaired by SLUMS. **Discussion and Conclusion:** Although SLUMS and MMSE showed similar overall scores, SLUMS demonstrated greater sensitivity in detecting cognitive

impairment. The low agreement and weak correlation suggest that the two tools should not be used interchangeably in clinical practice.

**Keywords:** Cognitive impairment, SLUMS, MMSE, screening, agreement, correlation, India

## ROLE OF NUTRITION IN MAINTAINING GOOD HEALTH

**Swathi. R<sup>1\*</sup>, S. Rubin thara<sup>2\*</sup>, E. Praveena<sup>3\*</sup> Hari nandhini. A**

Undergraduate Students, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education And Research  
Chennai, India

ORCHID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3037-1531>

### **Abstract:**

Nutrition plays a vital role in maintaining good health and overall well-being. It involves the intake of essential nutrients such as carbohydrates, proteins, fats, vitamins, and minerals, which are required for proper growth, development, and functioning of the human body. A balanced diet provides adequate energy and supports vital physiological processes, including metabolism, immunity, and tissue repair. Proper nutrition helps in the prevention of various diseases such as obesity, diabetes, cardiovascular disorders, and malnutrition-related conditions.

In addition, good nutrition strengthens the immune system, enabling the body to fight infections and recover faster from illnesses. Micronutrients like vitamins A, C, D, and minerals such as iron and calcium play a crucial role in maintaining immunity and bone health. Poor dietary habits, on the other hand, can lead to deficiencies and increase the risk of chronic diseases.

Moreover, nutrition is closely linked to mental health, as a well-balanced diet can improve cognitive function, mood, and overall mental well-being. Healthy eating habits, along with adequate hydration and regular physical activity, contribute significantly to a healthy lifestyle.

In conclusion, proper nutrition is essential for maintaining good health, preventing diseases, and improving quality of life. Awareness about healthy food choices and balanced diets is necessary for individuals to lead a healthy and productive life.

### **Keywords:**

Nutrition, Balanced Diet, Health, Immunity, Nutrients, Disease Prevention, Healthy Lifestyle, Malnutrition.

## DISCREPANCY BETWEEN PERCEIVED AND ACTUAL MULTIDIMENSIONAL PHYSICAL FITNESS AMONG UNIVERSITY STUDENTS: EVIDENCE OF SYSTEMATIC OVERESTIMATION

ROHIT SINGH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5014-0543>

DR CHANDRA SHEKHAR KUMAR<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India

<sup>2</sup>ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0008-9924-449X>

### ABSTRACT

**Introduction:** Perceived physical fitness is commonly assumed to represent an individual's actual physical capabilities; however, such self-assessment may not accurately reflect the multidimensional nature of fitness.

**Objective:** To evaluate the relationship, agreement, and discrepancy between perceived physical fitness and objectively measured physical fitness components among university students.

**Methods:** A descriptive correlational study was conducted on university students. Perceived physical fitness was assessed using the Perceived Physical Fitness Scale (PPFS), and functional confidence was measured using the Activity-Based Confidence (ABC) Scale. Objective fitness components included muscular strength (handgrip dynamometry), cardiorespiratory endurance assessed via Harvard Step Test (HST), and dynamic balance measured using the Y Balance Test (YBT). A composite Actual Fitness Index (AFI) was derived by standardizing and combining objective measures. Relationships were analyzed using the Pearson correlation coefficient, agreement was assessed using Cohen's Kappa, and mismatch analysis was performed to determine the proportion of overestimation and underestimation.

**Results:** Perceived physical fitness demonstrated a weak correlation with the composite AFI ( $r = 0.21$ ), despite showing a moderate association with muscular strength alone. Agreement between perceived and actual fitness classifications was poor ( $Kappa = 0.12$ ). Mismatch analysis revealed that approximately 58% of students overestimated their fitness levels, while only 27% showed accurate self-assessment and 15% underestimated their fitness. Additionally, no significant difference in actual fitness was observed between high and low perceived fitness groups ( $p > 0.05$ ), indicating limited discriminative ability of self-perception.

**Conclusion:** The findings demonstrate a systematic overestimation of physical fitness among students, with poor agreement between perceived and objectively measured multidimensional fitness. While individuals may partially assess strength-related fitness, self-perception fails to

accurately capture overall physical fitness. These results highlight the limitations of relying on subjective fitness perception and emphasize the need for objective assessment in evaluating physical fitness status.

**Keywords: Perceived physical fitness, overestimation, handgrip strength, Harvard Step Test, Y Balance Test, agreement analysis**

## **AI-DRIVEN DRUG DISCOVERY: TRANSFORMING PHARMACEUTICAL RESEARCH AND ITS SOCIETAL IMPLICATIONS**

**Tanzeela<sup>1</sup>, Dr. Matloob Ahmad<sup>1</sup>, Dr. Furqan Ahmad Saddique<sup>1</sup>, Tanzeela Riaz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad, Pakistan.

### **Abstract**

Artificial intelligence (AI) is also revolutionizing the world of pharmaceutical research, with innovative, data-backed drug discovery and development models. Using techniques like Machine Learning and Deep Learning, researchers can analyze large volumes of biological information more quickly and accurately; these approaches also facilitate faster assessment of potential drug targets and a better understanding of disease mechanisms. Also, AI-enabled tools help in designing and optimizing drug molecules by predicting distinctive structural properties, effects, and toxicities of molecules allowing shorter time periods for development and cheaper costs. These technologies then fortify virtual screening processes and enhance clinical trial efficiency through effective patient selection and actionable predictive analysis of success. These innovations are especially useful when addressing complex diseases such as Cancer & Alzheimer's Disease, and facilitate alternative therapeutic mechanisms like drug repurposing which saw a rise during the COVID-19 Pandemic. AI in drug discovery represents a pivotal shift towards more efficient and cost-effective healthcare solutions, which should be emphasised through responsible development and shared collaboration.

Keywords: Artificial intelligence, Drug discovery

## “OPTIMIZING ATHLETIC PERFORMANCE IN BADMINTON: A COMPARATIVE STUDY OF CORE STRENGTH AND ENDURANCE TRAINING ”

**Mohd Anas Arif<sup>1</sup>**

Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India,  
Orcid ID: 0009-0004-5625-7312

**Umesh Kumar Maurya<sup>2</sup>**

Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India  
Orcid ID: 0000-0002-6075-2226

### **Background:**

Badminton requires a combination of agility, strength, balance, and endurance to perform effectively. Core strength contributes to stability, coordination, and efficient movement, while endurance training enhances stamina and the ability to sustain performance during long matches. However, limited research compares the specific effects of these two training approaches on badminton performance

### **Objective:**

This study aims to compare the effects of core strength training and endurance training on key performance variables in badminton players, and to identify which training method contributes more effectively to overall athletic performance.

### **Methods:**

A total of 84 intercollegiate badminton players aged 18–25 years participated in this study. The participants were randomly divided into two equal groups: the core strength training group (n = 42) and the endurance training group (n = 42). Each group followed a structured training program specific to their category for a duration of several weeks. Pre- and post-intervention assessments were conducted to evaluate key performance variables, including agility, balance, smash power, reaction time, and cardiovascular endurance. Standardized fitness tests and badminton-specific skill assessments were used to ensure reliability and validity of the measurements. Statistical analysis was performed using appropriate methods (e.g., paired and independent t-tests) to compare within-group and between-group differences. The level of significance was set at  $p < 0.05$  to determine statistically significant improvements following the training interventions.

### **Results:**

The results showed a significant improvement in both agility and speed following the intervention. The mean agility score improved from 11.22 seconds (pre-test) to 9.46 seconds (post-test), with a statistically significant difference ( $t = 23.20$ ,  $p < 0.001$ ). Similarly, speed

improved from 6.35 seconds to 5.49 seconds, which was also statistically significant ( $t = 11.43$ ,  $p < 0.001$ ).

**Conclusion:**

The findings of this study demonstrate that structured training interventions significantly enhance key performance components in badminton players. The observed improvements in agility and speed indicate that both core strength and endurance training contribute positively to athletic performance. These results support the importance of incorporating targeted training methods to develop quick movement, rapid direction changes, and overall on-court efficiency. In line with the study's objective, it can be concluded that optimizing badminton performance requires a balanced integration of core strength and endurance training, as both play a vital role in improving physical fitness and competitive performance among intercollegiate players aged 18–25 years.

**Keywords:**

Badminton, Athletic Performance, Core Strength, Endurance Training, Agility, Speed.

## ASSESSMENT OF AGILITY AND HAND GRIP STRENGTH: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN CRICKET AND BADMINTON PLAYERS

Arpit Verma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University (CSJMU), Kanpur, Uttar Pradesh, India  
ORCID ID: 0009-0006-9978-2066

Umesh Kumar Maurya<sup>2</sup>

Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India  
Orcid ID: 0000-0002-6075-2226

### Background:

Agility and hand grip strength are key determinants of athletic performance, especially in sports that involve rapid movements, coordination, and upper-limb function. While both cricket and badminton are dynamic sports, they differ in their physical and biomechanical demands. Cricket primarily involves intermittent activity with a greater emphasis on grip strength, whereas badminton requires continuous agility, quick reactions, and fast movement. Understanding these differences is important for developing sport-specific training strategies. **Objective:** The aim is to compare agility and hand grip strength between cricket and badminton players and to identify sport-specific variations in these performance parameters. **Methods:** A comparative cross-sectional study was conducted on 84 male athletes aged 18–25 years, including cricket and badminton players with at least 2 years of playing experience. Participants were selected using purposive sampling. Agility was assessed using the T-test, and hand grip strength was measured using a hand dynamometer. Each participant performed three trials, and the best value was recorded for analysis. Data were analyzed using appropriate statistical tests. Normality was assessed using the Kolmogorov–Smirnov test. Based on data distribution, an independent t-test was applied to compare variables between groups. Statistical significance was set at  $p < 0.05$ . **Result:** The mean hand grip strength in cricket players was  $44.60 \pm 5.49$  kg, whereas in badminton players it was  $41.88 \pm 5.41$  kg. The mean agility (t-test) score in cricket players was  $12.00 \pm 1.83$  seconds, while badminton players demonstrated a mean value of  $11.60 \pm 1.70$  seconds. These findings indicate that cricket players exhibited higher hand grip strength, whereas badminton players showed better agility performance. **Conclusion:** The present study demonstrates distinct sport-specific differences between cricket and badminton players. Cricket players exhibited significantly greater hand grip strength, reflecting the demands of batting and bowling activities. In contrast, badminton players showed superior agility performance, likely due to the continuous requirement for rapid directional changes and quick movements during play. These findings highlight the importance of tailored training programs that focus on

enhancing grip strength in cricket players and agility in badminton players to optimize performance. **Keywords:** Agility, Hand Grip Strength, Cricket Players, Badminton Players, Athletic Performance, T-Test, Dynamometer, Comparative Study

## THE BANK OF INDOCHINA'S INFLUENCE ON THE STATE BUDGET OF INDOCHINA

**Duong To Quoc THAI**

Lecturer in History, Faculty of Social Sciences Education, School of Education, Dong Thap University, Vietnam

ORCID: 0009-0008-1929-3751

**M.A. Ly Thi Kim QUYEN**

Lecturer in Political Economy, Faculty of Political Education and Educational Management, School of Education, Dong Thap University, Vietnam

**M.A. Huynh Phuong NGHI**

Specialist at Dong Thap Medical College, Vietnam

### ABSTRACT

This paper investigates the decisive role of the Bank of Indochina (BIC) in shaping the state budget structure of the Indochinese Union during the 1875–1954 period. By leveraging unpublished archival dossiers and historical financial reports, the study reveals that the BIC functioned not merely as a credit institution but as a "contingency treasury" and the "architect of public debt" for the colonial administration. Through its exclusive privilege of banknote issuance and control over the Indochinese Piastre, the BIC established a model of "colonial state capitalism," where financial decisions were consistently aligned with French political and military objectives. The analysis elucidates how the BIC collaborated with the Governor-General of Indochina to fund pacification campaigns and extractive infrastructure projects via government bond issuances, effectively transforming public debt into an instrument for Parisian finance capital to appropriate colonial resources. The findings confirm that the BIC's influence on the budget created a structural dependency, wherein tax revenues from the indigenous population were diverted to service debts for investments that primarily benefited the metropole. This article provides a novel perspective on the nexus between banking power and colonial governance, offering valuable historical lessons on monetary sovereignty and fiscal management.

**Keywords:** *Bank of Indochina, State Budget, Public Debt, Finance Capital, Colonial Indochina.*

### 1. INTRODUCTION

The economic history of colonial Vietnam is inextricably linked to the emergence and expansion of the Banque de l'Indochine (BIC), a financial institution that redefined the economic structure of the entire Southeast Asian region from the late 19th century until 1954. Established by the French presidential decree of January 21, 1875, the BIC was not merely a commercial entity but functioned as a "colonial central bank" endowed with unprecedented

privileges, including the exclusive right of currency issuance and the control of public credit. The presence of the BIC represented a quintessential model of "finance capital," characterized by the close fusion of political authority from the metropole and the economic prowess of capitalist conglomerates.

The relationship between the BIC and the Indochinese Federal Budget served as a pivotal axis in the colonial exploitation strategy. In its capacity as a bank of issue, the BIC held sovereign power over the Indochinese Piastre, allowing it to regulate monetary circulation and shape the fiscal policies of the entire region. Unlike the independent central banking models found in developed nations, the BIC was a private entity performing public functions, ranging from managing the colonial treasury to maintaining exchange rates that favored French capital. The BIC was the primary "architect of public debt" in Indochina. By converting infrastructure investments into federal budget debts coordinated by the BIC, the indigenous population was forced to pay for a modernization process that primarily served colonial interests through the taxation system.

The power of the BIC was further manifested in its role as an "investment bank" (*banque d'affaires*), deeply penetrating core economic sectors such as rubber plantations, mineral extraction, and transportation infrastructure. Following the 1929 economic crisis, the bank's strategy underwent a profound shift toward direct participation in key productive sectors. Through the provision of long-term credit and the acquisition of controlling stakes, the BIC constructed a monopolistic network encompassing the entire economic structure of the Indochinese Union. The convergence of the colonial administration and the financial oligarchy in Paris created a "power alliance" that granted the BIC prior access to strategic planning information and economic privileges.

The objective of this research is to analyze the operational mechanisms and the profound influence of the BIC on the state budget in Indochina. The study focuses on how the BIC utilized financial instruments to transfer economic surplus from the colony to the metropole, transforming the colonial budget into a tool for the accumulation of French finance capital. By deciphering archival records of financial reports and investment portfolios, the research will illuminate the nature of "dependent modernization," where infrastructure and public debt became mechanisms for tightening economic control over Vietnam.

## 2. MATERIAL AND METHODS

### 2.1. Research Materials

This study employs a multi-layered documentation system, integrating primary archival sources with secondary scholarly research to ensure historical objectivity and depth.

- **Primary Sources:** The core data set is extracted from the archives of the Banque de l'Indochine (BIC) for the period 1875–1954. This includes annual reports (Rapports Annuels) presented to the board of directors in Paris, balance sheets, and credit dossiers specifically allocated to the Indochinese Federal Government. Particular emphasis is placed on analyzing the decrees (Décrets) and ordinances (Arrêtés) issued by the Governor-General of Indochina concerning currency issuance privileges and treasury management to clarify the legal relationship between the BIC and the state budget.
- **Statistical Data:** The Statistical Yearbooks of Indochina (Annuaire Statistique de l'Indochine) provide essential figures on tax revenue, public expenditure, loans, and the fluctuations of the Piastre exchange rate. These quantitative data serve as the foundation for assessing budget deficits and the "financial bailout" role played by the BIC.
- **Secondary Materials:** The research references the works of prominent economic historians such as Jean-Pascal Aumiphin and Marc Meuleau, alongside recent scholarly articles published in specialized journals like IJAMRED and ISARC, to triangulate theoretical perspectives on finance capital.

### 2.2. Research Methodology

The study utilizes the methodology of historical materialism combined with modern economic analytical tools.

- **Historical and Logical Methods:** These are used throughout to reconstruct the formation and evolution of the BIC in correlation with the various stages of colonial exploitation. This approach helps identify the inevitability of the BIC becoming an "extended arm" of the state budget.
- **Statistical and Quantitative Analysis:** Applied to process complex financial tables. The author employs comparative models to examine growth indices between BIC investment capital and the public debt of the Federal Government to establish a correlation between banking expansion and budgetary dependency.
- **Institutional Approach:** Analyzes the legal frameworks and financial institutions. This method focuses on dissecting the economic privileges granted to the BIC by the colonial

administration, thereby elucidating the mechanism of "dual monopoly": the monopoly of issuance and the monopoly of public financing.

- **Content Analysis:** This is applied to meeting minutes and correspondence between BIC executives and colonial financial officials to decode the strategic intentions behind budgetary loans.
- **Comparative Method:** Compares the BIC model in Indochina with other colonial banking systems of Britain or the Netherlands in Southeast Asia to highlight the distinct characteristics of French financial colonialism.

The research adheres to scientific ethical principles, ensuring the authenticity of archival materials and objectivity in data interpretation, aiming to provide a comprehensive view of this financial institution's impact on the colonial Vietnamese economy.

### **3. RESULTS AND DISCUSSION**

#### **3.1. The Monopoly of Issuance and the Control of Monetary Circulation**

##### **The Establishment of Monopolistic Power and Legal Mechanisms**

Research results from decrees between 1875 and 1900 demonstrate that the Banque de l'Indochine (BIC) was not merely a credit institution but a powerful entity entrusted by the French State with a sovereign function: currency issuance. This privilege was initially established by the Decree of January 21, 1875, and was continuously extended through subsequent conventions. The BIC held the exclusive right to issue banknotes with legal tender status throughout the Indochinese Union. This created a unique financial structure: a private bank holding the "lifblood" of the public economy. This control allowed the BIC to directly influence the liquidity of the state budget, as all tax collection and public spending had to be conducted through the currency unit over which the BIC held a monopoly.

##### **Standard Mechanisms and Dependency on French Financial Markets**

A prominent result in the control of monetary circulation was the maintenance and adjustment of the Piastre standard. In the early stages, the Piastre was based on the silver standard, causing significant instability for the state budget as global silver prices fluctuated. Discussion of this issue, based on archival records, reveals that the BIC skillfully utilized exchange operations to shift risks from the bank to the budget. When silver prices fell, the colonial government's import costs and foreign debt skyrocketed, yet the BIC profited from conversion service fees and exchange rate differentials. By 1930, the transition to the gold standard and the pegging of the Piastre to the French Franc (at a rate of 1 Piastre = 10 Francs) under the decree of May 31, 1930, officially transformed Indochina into a subsidiary entirely

dependent on the economic cycles of the metropole. This meant that whenever the French budget faced a crisis, the Indochinese budget was immediately impacted through the exchange mechanism managed by the BIC.

### **Circulation Control and the Role of Treasury "Gatekeeper"**

The BIC exercised its control over monetary circulation through the management of metallic and foreign exchange reserves. The bank compelled the colonial government to maintain large deposits in its coffers without adequate interest, while the BIC used those very funds to lend to French enterprises or reinvest in government bonds. This constituted a sophisticated appropriation of economic surplus. The BIC's regulation of the money supply was not based on the developmental needs of the local economy but rather on the liquidity requirements of major capitalist conglomerates and the stability of the balance of payments with France. Consequently, the Indochinese economy frequently suffered from localized currency shortages in rural areas (the sites of actual production) while experiencing excess liquidity in financial speculation activities in major urban centers.

### **The Link Between Issuance Privilege and Public Debt**

The BIC's monetary control directly led to the shaping of the public debt structure within the state budget. When the Federal Government required capital for large-scale infrastructure projects (railways, ports), the BIC served not only as an advisor but also as the issuing entity for debt loans. Holding a monetary monopoly, the BIC was able to impose loan terms favorable to itself, transforming budget debts into long-term, stable revenue streams for its shareholders in Paris. The discussion of this relationship clarifies that the state budget in Indochina was not a tool for the redistribution of social income, but rather a mechanism to ensure the transfer of value from the labor of colonized people to finance capital through the "monetary chain."

## **3.2. BIC as the Supreme Creditor of the Federal Budget**

### **Mechanisms of Colonial Public Debt Formation and BIC Intervention**

An analysis of the Indochinese Federal Budget settlement reports from 1900 to 1945 reveals a consistent reality: the colonial budget rarely achieved true balance without the support of loans. The Banque de l'Indochine (BIC) established its position as the "Supreme Creditor" by creating an intricate credit network, transforming budget deficits into capital accumulation opportunities. In discussing this issue, it must be recognized that the BIC did not merely lend during temporary cash shortages (short-term credit) but also served as the primary guarantor for long-term loans (Treasury bonds) used to fund major extraction programs. According to archival records, the BIC frequently imposed harsh lending conditions, requiring the federal

budget to use key tax revenues—such as those from salt, alcohol, and opium—as indirect collateral. This created a cycle: the colonial government borrowed from the BIC to build infrastructure, then used the tax revenue collected from the indigenous population to pay the interest back to the bank.

### **The Role of BIC in Strategic Infrastructure Projects**

Historical data indicates that the majority of loans from the BIC were directed toward transportation and export-oriented infrastructure. However, this "generosity" was a strategic calculation of finance capital. The BIC acted as the financial contractor for railway projects (such as the Trans-Indochina railway) and port systems. Consequently, while the state budget bore the risks of public debt and maintenance costs, the BIC and its subsidiaries (such as construction and mining firms) profited from project execution. This is a classic model of "socializing losses and privatizing profits." The discussion here must emphasize that the BIC transformed the Federal Budget into a risk-insurance tool for its investments, where every financial failure of a project was converted into colonial public debt.

### **The Symbiosis of Treasury and Bank during Crisis Periods**

During periods of significant volatility, such as the Great Depression (1929–1933) and World War II, the BIC's role as "creditor" became absolute. When aid from metropolitan France was reduced or halted, the BIC became the sole lifeline for the Federal Budget to maintain administrative and military operations. Research results show that during this period, the BIC provided special loans in the form of "advances" to the Treasury. However, the price for this support was the BIC's increased control over fiscal policy. The bank had a decisive voice in cutting public spending on education and healthcare to prioritize debt interest payments. This is the ultimate manifestation of "financial colonialism," where the power of capital supersedes the social responsibility of the colonial administration.

### **Consequences of Financial Dependency on the Indochinese Economic Structure**

The BIC's dominance as the supreme creditor created a sustainable debt economy. The Indochinese budget was placed in a state of chronic "austerity" regarding indigenous needs while remaining extremely loose regarding debt service payments to the BIC. Discussions on the legitimacy of these debts indicate that the majority of public debt was not used to develop the productive capacity of the Vietnamese people but to serve the expansion of French capital in the Far East. Thus, the BIC controlled not only the currency (as analyzed in section 3.1) but also the financial future of the colony through a decades-long public debt trap.

### **3.3. Convergence of Treasury Management and Private Investment**

### **Mechanisms of Appropriating Public Funds for Private Objectives**

A survey of treasury management regulations in Indochina from 1875 to 1945 reveals a systematic ambiguity between state capital flows and the resources of the Banque de l'Indochine (BIC). As the Treasurer of the Federation, the BIC acted not only as a custodian but also possessed the right to utilize the Treasury's demand deposits to maintain liquidity for its private business operations. Discussing this phenomenon, economic historians identify it as a form of massive "implicit subsidy." While the state budget faced pressures to balance revenue and expenditure, the tax contributions of the indigenous population sat in the hands of the BIC as a source of low-cost capital for the bank to reinvest in high-profit projects for its Parisian shareholders.

### **Integration of Political Information and Investment Strategies**

A significant result of this research is the discovery of a close link between the colonial administration's planning schemes and the BIC's private investment portfolios. In its role as a financial advisor to the Governor-General of Indochina, the BIC accessed classified information regarding transportation planning, mineral extraction, and urban development long before such information reached the public. Discussing this "informational advantage," archival records show that the BIC proactively established or acquired subsidiaries in the rubber industry (such as plantations in Cochinchina) and utility sectors (such as the CEE - Compagnie des Eaux et d'Électricité) specifically in areas where the state budget was projected to invest heavily in infrastructure. This convergence transformed the BIC into an entity that acted as both "referee and player," where public policy was designed as a lever to increase the value of private assets.

### **Symbiotic Ecosystem: Budget - Bank - Conglomerate**

Research results indicate that the BIC constructed a monopolistic ecosystem encompassing the Indochinese economy. Funds from the Federal Budget, coordinated by the BIC, were frequently prioritized for projects in which the BIC held controlling stakes. For instance, budget loans allocated to the coal mining industry in Quang Ninh indirectly nurtured profits for conglomerates where BIC executives held key seats on the Board of Directors. Discussion of this structure clarifies the nature of colonial "crony capitalism": the state budget assumed risks and provided seed capital, while marginal profits were shifted to private investors through the BIC's intermediary mechanisms.

### **Counter-impact on the Transparency of the State Budget**

The overwhelming convergence between treasury management and private investment eroded the transparency of public finance in Indochina. Consequently, budget reports were often

presented in an overly complex manner to obscure the transfer of benefits to the BIC. Discussing this implication, it is evident that the lack of separation between public and private spheres prevented the Indochinese economy from developing toward a free-market competitive model. Instead, it created a "distorted" economic structure where a business's success was based not on labor productivity but on its relationship with the BIC "money machine" and its proximity to colonial budgetary sources.

### **3.4. Impact on Taxation and Local Economy**

#### **Transformation of Tax Structure Under BIC's Public Debt Pressure**

The results of research on Indochina's fiscal history reveal a close correlation between the increase in loans from the Banque de l'Indochine (BIC) and shifts in the taxation structure. To ensure the repayment of principal and interest to the BIC, the colonial administration was compelled to establish a predatory tax system, focusing on essential commodities and direct poll taxes on the indigenous population. Discussing this issue, archival records indicate that the "economic trinity" (taxes on salt, alcohol, and opium) served not only to maintain the administrative apparatus but also acted as a crucial reserve fund to collateralize loans from the BIC. Consequently, the state budget became a financial transfer mechanism, where money from the pockets of poor peasants was mobilized to service the debts of French finance capital.

#### **Stifling Local Capital Accumulation and Rural Impoverishment**

Quantitative analysis results show that while the BIC's profits grew steadily each year, the purchasing power and accumulation capacity of Vietnamese household economies significantly declined. The BIC's control over the Piastre exchange rate and the tightening of credit for small-scale production pushed the indigenous people into a spiral of debt. Discussing this impact, the study asserts that the BIC's monetary policies indirectly fostered rural usury. When the population could not access formal capital from the BIC (which was reserved for major corporations), they were forced to turn to local moneylenders with exorbitant interest rates to pay their taxes, leading to landlessness and widespread impoverishment. This is a clear manifestation of the colonial budget, under the BIC's dominance, failing to perform a social reinvestment function and instead acting as an instrument of surplus expropriation.

#### **Distortion of the Domestic Market and the Predominance of French Goods**

Research results also indicate that the BIC's tariff policies and foreign exchange controls created an extreme protectionist environment for French goods, to the detriment of local production. Discussing this aspect, it is evident that the BIC utilized its issuance power to maintain the Piastre at a level favorable for importing industrial goods from the metropole and

exporting raw materials. This rendered indigenous handicrafts and small-scale industries uncompetitive, forcing them to dissolve or downsize. The state budget, instead of supporting domestic production protection, was used to offset trade deficits arising from this disparity, creating an economy entirely dependent on the BIC's financial system.

### **Long-term Impacts on Vietnamese Social Structure**

The convergence of heavy taxation and the BIC's dominance profoundly altered the social structure. The result was the formation of an intermediary class that benefited from the colonial financial system, while the vast majority of the masses were pushed to the margins of development. Discussing historical significance, it was precisely the financial pressure and budget distribution injustice that ignited anti-tax movements among the Vietnamese people throughout the first half of the 20th century. Deciphering the BIC's influence on the state budget not only helps in understanding economic history but also illuminates the economic precursors of the national liberation revolution, as the people sought to shatter financial chains to regain budgetary autonomy.

## **4. CONCLUSION**

### **Summary of the Hegemonic Role of the Banque de l'Indochine**

The study of the influence of the Banque de l'Indochine (BIC) on the state budget in Indochina from 1875 to 1954 reveals a comprehensive picture of the close symbiosis between finance capital and the colonial administrative apparatus. The analysis confirms that the BIC was not merely a profit-seeking business entity; it was a political-financial institution holding sovereign privileges that should have belonged solely to the state. Through its exclusive monopoly on currency issuance, the BIC transformed the Piastre into an effective instrument of economic control, tightly anchoring the financial destiny of the entire Indochinese Union to the orbit of the French financial market. This dominance created a foundation where the state budget no longer functioned to regulate the economy for the public good but instead became a collateral tool for the capital accumulation of a small financial oligarchy in Paris.

### **The Nature of the Colonial "Creditor-Debtor" Relationship**

The relationship between the BIC and the Indochinese Federal Budget exposed the essence of the "colonial debt trap." As the supreme creditor, the BIC reshaped the public spending structure of the colonial government. Prioritizing debt servicing and ensuring bank profits led to the sacrifice of social development goals, such as education, healthcare, and civil infrastructure for the indigenous population. Instead, the budget was funneled into export-oriented infrastructure projects where the BIC simultaneously acted as a private investor. The

convergence of treasury management and private investment blurred the boundaries between public and private capital, creating a sophisticated mechanism of "surplus appropriation." The heavy tax burden placed on the shoulders of Vietnamese peasants ultimately flowed into the pockets of BIC shareholders through interest payments and dividends from monopolistic companies.

### **Historical Consequences and Lessons on Financial Autonomy**

The BIC's stifling of the local economy left profound consequences. By maintaining a dependent economic structure, the BIC prevented the formation and development of a national bourgeoisie and domestic financial institutions. The impoverishment of the countryside and the distortion of the monetary market during the colonial period are clear evidence of the failure of the "dependent modernization" model. However, it was precisely this extreme financial pressure that stimulated the sense of self-reliance and served as a catalyst for national liberation movements. Reclaiming budgetary and monetary autonomy after 1945 was not only a political victory but also a vital turning point for reconstructing the national economy. This research contributes a crucial perspective to understanding the mechanisms of financial colonization, thereby drawing experimental lessons on protecting economic sovereignty in the current context of globalization.

### **REFERENCES**

- Aumiphin, J. P. (1994). *The financial and economic presence of France in Indochina (1859-1939)*. Vietnam Association of Historical Sciences.
- Banque de l'Indochine. (1875-1954). *Rapports annuels présentés à l'Assemblée Générale des Actionnaires* [Annual reports presented to the General Assembly of Shareholders]. Paris.
- Brocheux, P., & Hémy, D. (2009). *Indochina: An Ambiguous Colonization, 1858-1954*. University of California Press.
- Duong, T. Q. T. (2020). *The process of fulfilling the financial capitalist role of the Bank of Indochina in Vietnam (1875-1955)*. Doctoral dissertation in Vietnamese History, defended at the institutional level. Ho Chi Minh City University of Education.
- Duong, T. Q. T. (2021). *The Bank of Indochina in the process of French colonization in Vietnam (1875-1954)*. Doctoral dissertation in Vietnamese History. Ho Chi Minh City University of Education.
- Duong, T. Q. T. (2025). Investment activities of the Bank of Indochina in the industrial and commercial sectors in Vietnam (1875–1945). *Rize Trade, Economy Congress & Summit 2025*.
- Duong, T. Q. T. (2026). *The Bank of Indochina's influence on the State Budget of Indochina*. International Science and Art Research Center (ISARC).
- Gonjo, Y. (2018). *Colonial Bank or Investment Bank? The Bank of Indochina under the Third Republic*. L'Harmattan.
- Gouvernement Général de l'Indochine. (1913-1946). *Annuaire Statistique de l'Indochine* [Statistical Yearbook of Indochina]. Imprimerie d'Extrême-Orient.
- Gouvernement Général de l'Indochine. (1875-1945). *Journal Officiel de l'Indochine Française* [Official Journal of French Indochina]. Imprimerie d'Extrême-Orient.
- Hilferding, R. (1910). *Finance Capital: A Study of the Latest Phase of Capitalist Development*. Routledge.

- Larchier-Boulanger, J. (1939). *Le Régime Fiscal de l'Indochine* [The fiscal regime of Indochina]. Paris.
- Meuleau, M. (1990). *Des Pionniers en Extrême-Orient: Histoire de la Banque de l'Indochine (1875-1975)*. Fayard.
- Murray, M. J. (1980). *The Development of Capitalism in Colonial Indochina (1870-1940)*. University of California Press.
- Ngo, V. L. (1973). *Before the Revolution: The Vietnamese Peasants under the French*. MIT Press.
- North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge University Press.
- Norlund, I. (1991). The French empire, the colonial state in Vietnam and economic policy: 1885-1940. *Australian Economic History Review*, 31(1), 72-89.
- Pham, X. N. (1985). *Economic history of Vietnam 1858-1945*. Education Publishing House.
- Robequain, C. (1944). *The Economic Development of French Indo-China*. Oxford University Press.
- Thomas, M. (2005). *The French Empire Between the Wars: Imperialism, Politics and Society*. Manchester University Press.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. SAGE Publications.

## **SOCIO-POLITICAL AWARENESS OF POLITICAL EDUCATION STUDENTS: INFLUENCING FACTORS IN THE ERA OF DIGITAL TRANSFORMATION**

**M.A. Ly Thi Kim QUYEN**

Lecturer in Political Economy, Faculty of Political Education and Educational Management, School of Education, Dong Thap University, Vietnam

**Tran Ngoc ANH**

Student in Political Education, Faculty of Political Education and Educational Management, School of Education, Dong Thap University, Vietnam

**Duong To Quoc THAI**

Lecturer in History, Faculty of Social Sciences Education, School of Education, Dong Thap University, Vietnam

ORCID: 0009-0008-1929-3751

### **ABSTRACT**

Socio-political awareness is a crucial objective in civic education, contributing to the formation of students' ideologies, attitudes, and behaviors in both academic settings and social life. For students, particularly those majoring in Political Education, engaging in theoretical study, cultivating critical thinking, and proactively exploring practical realities are key factors in enhancing socio-political consciousness. In the context of digital transformation, the proliferation of the Internet, social networks, and digital platforms has revolutionized information sources, thereby impacting the way students access and form their socio-political awareness. This article aims to identify the factors of digital transformation that influence the socio-political awareness of Political Education majors. The study employs a document analysis method combined with a questionnaire-based survey. The research results indicate that factors such as social media, students' digital competency, technological infrastructure, and the orienting role of educational institutions and lecturers exert a significant influence. Based on these findings, the article proposes several solutions to enhance socio-political awareness for students amidst the digital transformation landscape.

***Keywords:** Digital transformation, socio-political awareness, Political Education students, influencing factors.*

### **1. INTRODUCTION**

In the era of vigorous digital transformation, digital technologies are increasingly exerting a profound influence on education and social life. In the "National Digital Transformation Program through 2025, with a Vision toward 2030" approved by Decision No. 749/QĐ-TTg on June 3, 2020, the Prime Minister emphasized the pivotal role of awareness in digital transformation and aimed at the comprehensive development of digital literacy for citizens in the new era (Prime Minister, 2020). Furthermore, in Resolution No. 57-NQ/TW dated

December 22, 2024, regarding breakthroughs in the development of science, technology, innovation, and national digital transformation, the Politburo identified digital transformation as an inevitable requirement for the nation's development (Politburo, 2024). Education and training remain a top national priority; notably, Resolution No. 71-NQ/TW dated August 22, 2025, from the Politburo on breakthroughs in education and training development, underscored the demand for comprehensive educational reform within the digital context and highlighted the role of higher education in developing high-quality human resources (Politburo, 2025).

In the digital environment, the Internet and information technology facilitate students' rapid access to diverse information sources. However, the prevalence of misinformation, fake news, and the trend of uncritical information consumption have impacted students' perceptions and behaviors (Nguyen Thi Hieu, 2023), thereby altering how they approach and process information, particularly concerning socio-political issues. For students majoring in Political Education, socio-political awareness is of paramount importance, as they constitute the workforce undergoing specialized training in political theory and law. Although numerous studies have explored digital transformation's impact on students, specialized research on the factors influencing the socio-political awareness of Political Education majors remains limited. Consequently, this article focuses on analyzing the factors affecting the socio-political awareness of Political Education students in the context of digital transformation, serving as a foundation for proposing appropriate solutions.

## **2. LITERATURE REVIEW**

In Vietnam, the impact of digital transformation on the formation of students' socio-political awareness has been addressed in several studies. Tran Cong Phong et al. (2019) analyzed the transition of digital transformation in education from traditional models to smart learning environments, while identifying emerging technological trends such as Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), and Artificial Intelligence (AI). From a different perspective, Vo Phu Huu and Tran Mong Nghi (2025), in their research on enhancing students' political awareness, emphasized that social networks have increasingly become the primary space for students to receive and share political information. However, they also pointed out significant challenges, including superficial learning, a lack of critical thinking, and limited legal knowledge, which can easily lead to distorted perceptions.

Regarding the factors influencing students' political mettle, Nguyen Thi Hieu (2023) asserted the necessity of strengthening political fortitude education, highlighting multi-dimensional impacts ranging from economic and cultural factors to socio-political and

technological developments. Concerning the role of educational institutions and society, Nguyen Ngoc Diep (2025) argued that while students play a crucial role in national development, a segment of the student population remains indifferent or possesses skewed perceptions, which adversely affects collective awareness.

Furthermore, in her study on developing critical thinking, Dinh Thi Quynh Ha (2024) pointed out that critical thinking is a vital cognitive skill that enables students to analyze, evaluate information, and make informed decisions. Addressing the development of digital culture, Tran Nguyen Hao (2023) emphasized that digital culture—encompassing the knowledge, skills, and attitudes necessary for the effective and safe use of digital technology—is indispensable in the current trend of digital transformation in Vietnam.

In summary, existing literature has addressed the broader impacts of digital transformation and various factors related to students' socio-political awareness. Nevertheless, specialized research focusing specifically on the factors influencing the socio-political awareness of Political Education majors remains limited. Consequently, this article focuses on analyzing these specific influencing factors to bridge the current research gap and propose appropriate solutions.

### **3. THEORETICAL FRAMEWORK**

#### **3.1. Related Concepts**

##### **3.1.1. Digital Transformation**

"Digital transformation is a comprehensive and overall change process of individuals and organizations in their way of living and working, transitioning from the familiar traditional environment to a new digital environment" (Ministry of Information and Communications, 2021, p. 7).

In the field of education and training: "Digital transformation involves developing platforms to support distance learning; thoroughly applying digital technology in management, teaching, and learning; digitizing materials and textbooks; and building resources-sharing platforms for both face-to-face and online formats. It entails developing educational technology aimed at personalized training" (Prime Minister, 2020, p. 15). From these perspectives, digital transformation can be understood as the holistic application of digital technology across all aspects of human life, thereby shaping new perceptions of the transition from traditional to digital environments. This process assists individuals in adapting to shifts in mindset and behavior while adjusting activities to align with the contemporary social context.

### **3.1.2. Socio-Political Awareness**

"Perception is the act of understanding something, acquiring knowledge about a particular subject, and comprehending the laws governing specific phenomena or processes" (Vu Dung, 2008, p. 553).

"Politics is the participation in state affairs, as well as the determination of the forms, tasks, and contents of state activities" (Dictionary of Philosophy, 1986, p. 85).

In social life, human behavior and attitudes are governed by individual perception. When this perception is associated with activities and relationships within socio-political life, it is termed "socio-political awareness." Based on the aforementioned concepts, socio-political awareness can be defined as an individual's understanding, beliefs, attitudes, and behavioral orientations toward political issues, law, social values, and civic responsibilities within the digital context.

### **3.1.3. Communication Theory**

"Communication is a continuous process of exchanging or sharing information, emotions, and skills to create mutual links leading to changes in behavior and perception" (Duong Xuan Son, 2015).

Communication theory posits that the formation of human perception is influenced by fundamental elements: the information source, message content, transmission channel, and the recipient. In the context of digital transformation, digital platforms and social networks have become the primary communication channels, enabling rapid, widespread, and multidimensional information dissemination (Duong Xuan Son, 2015). This directly impacts how students access and process socio-political information. For Political Education majors, the process of receiving information depends not only on content but also on their ability to filter, verify, and critically evaluate information in the digital environment. Consequently, communication theory serves as the foundation for analyzing the factors influencing students' socio-political awareness in this study.

## **3.2. Factors Influencing Socio-Political Awareness Amidst Digital Transformation**

### **3.2.1. The Influence of Social Networks**

Social networks are ubiquitous information channels. Students utilize platforms such as Facebook and TikTok for daily updates (Nguyen Ngoc Diep, 2025). According to DataReportal, "At the beginning of 2025, Vietnam had approximately 79.8 million internet users, corresponding to a penetration rate of 78.8%" (DataReportal, 2025). This environment facilitates rapid access to diverse information and easy sharing of personal views. However,

due to their open and uncontrollable nature, social networks harbor unverified information, which can cause informational noise and negatively affect perception if critical filtering is lacking (Tran Quang Thai, 2023). In response, ensuring cybersecurity and information control has become essential. Government Decree No. 147/ND-CP (2024) emphasizes: "Preventing acts that exploit the internet to affect national security and social order... protecting children and youth from the negative impacts of the internet" (Government, 2024, p. 7). The Draft Cybersecurity Law of 2025 also stipulates the prevention and handling of distorted information to ensure national security (National Assembly, 2025). This indicates that social networks are not merely information channels but also environments that shape students' cognitive orientation.

### **3.2.2. Students' Digital Competency**

Digital competency is a crucial factor in shaping socio-political awareness. Decision No. 146/QD-TTg (2022) underscores that raising awareness is a prerequisite, and popularizing digital skills is the key to digital transformation, while focusing on IT training and building online learning platforms (Prime Minister, 2022). Digital competency encompasses not only the ability to use technology but also the skills to search, evaluate, and process information. Students with high digital competency tend to access information selectively and provide rational judgments. Conversely, those with limited competency are susceptible to misinformation or one-sided perspectives (Ha Hong Thu & Pham Van Thinh, 2024). Thus, digital competency is a decisive factor in the quality of students' awareness in the digital age.

### **3.2.3. Infrastructure and Technological Platforms**

Technological infrastructure directly affects information accessibility. To implement digital transformation in education, the Prime Minister issued Decision No. 131/QD-TTg (2022), focusing on building digital infrastructure, investing in equipment, and developing smart classrooms and AI applications in teaching (Prime Minister, 2022). While technological advancements facilitate knowledge acquisition, their effectiveness depends on economic conditions, institutional investment, and individual habits. Disparities in equipment and infrastructure among students can directly influence their ability to access and process information (Nguyen Thi Hieu, 2023).

### **3.2.4. The Orienting Role of Educational Institutions and Lecturers**

The guidance of schools and lecturers is vital in forming students' socio-political awareness. Research on "applying digital transformation in teaching political theory" suggests that modern teaching cannot be separated from digital transformation, which offers

opportunities for pedagogical innovation but requires lecturers to adopt appropriate approaches. Institutions must build management systems and develop technological skills for both staff and students to enhance educational quality (Nguyen Thi Ngoc, 2025). Through teaching activities, lecturers not only impart knowledge but also orient thinking, helping students enhance their analytical and critical skills (Dinh Thi Quynh Ha, 2024).

#### 4. RESEARCH METHODOLOGY

The research methodology employed in this study includes:

**Analytical and Synthetic Method:** Analyzing sources such as scientific journals, reports, and related literature to synthesize the theoretical framework regarding the impact of digital transformation on students' socio-political awareness.

**Data Collection and Processing Method:** A survey method using questionnaires was deployed via Google Forms. The collected data were processed using Excel with descriptive statistical methods to aggregate and analyze the findings, leading to scientific conclusions.

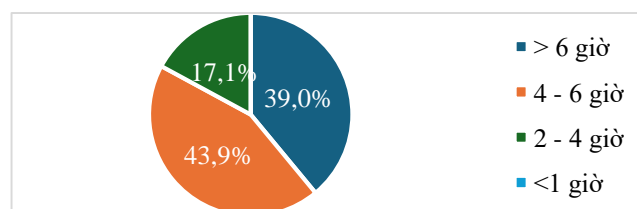
**Research Subjects:** The study was conducted on 82 Political Education majors at Dong Thap University.

#### 5. RESEARCH RESULTS

To conduct this study, the author administered a survey to students via Google Forms. The sample consisted of **82 participants**, including 23 freshmen (first-year students), 18 sophomores (second-year students), 23 juniors (third-year students), and 18 seniors (fourth-year students).

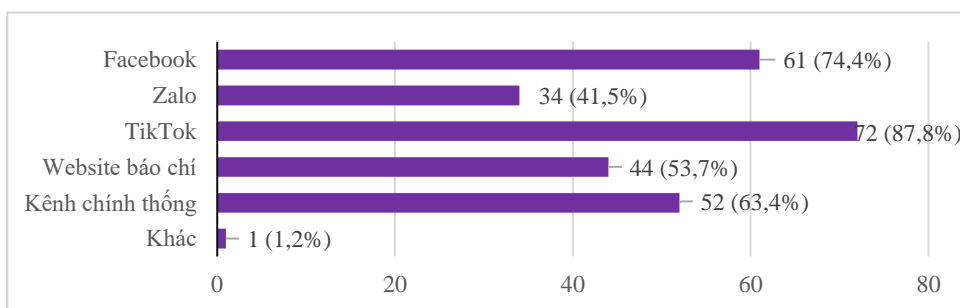
##### 5.1. Accessibility of Socio-Political Information on Digital Platforms among Political Education Majors

In the era of digital transformation, students' access to socio-political information is increasingly intertwined with the digital environment. To evaluate the current situation, the study surveyed internet usage time, preferred digital platforms, and the frequency of information access among Political Education majors.



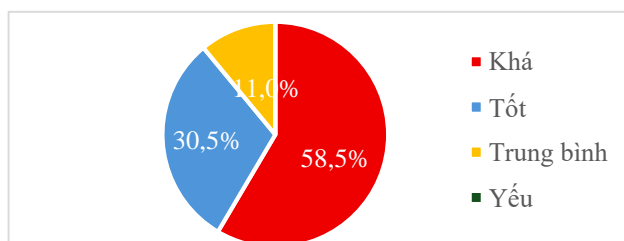
*Figure 1. Internet usage time of Political Education students. (Source: Survey of Political Education students in 2026)*

The survey results show that the majority of students spend a significant amount of time online each day. The group using the internet for 4–6 hours accounted for the highest percentage at 43.9% (36 students), followed by the group using it for more than 6 hours at 39.0% (32 students). Meanwhile, only 17.1% (14 students) used it for 2–4 hours, and no students used it for less than 1 hour. Thus, 82.9% of students use the internet for 4 hours or more, indicating that the internet has become an important part of students' lives. High usage time facilitates access to socio-political information but also poses a risk of receiving misinformation if students lack the skills to filter and verify it. However, internet usage time only reflects one aspect of online habits. Therefore, the study will continue to survey the information channels that students commonly use when accessing socio-political content (see Figure 2).



**Figure 2: Platforms used by Political Education students to access socio-political information.** (Source: 2026 Political Education Student Survey)

The survey shows that students access socio-political information through multiple channels, with social media being the primary platform (see Figure 2). Specifically, TikTok is the most used with 87.8%, followed by Facebook with 74.4%. Besides that, students also access official information sources at a fairly high rate, such as official channels (63.4%) and news websites (53.7%). This indicates that Political Education students are not entirely dependent on social media but also consciously consult and compare information from official sources. Furthermore, the study surveys the frequency of students accessing socio-political content on digital platforms to assess the regularity of their information reception behavior (see Figure 3).



**Figure 3. Level of digital technology usage among students accessing socio-political information on digital platforms.** (Source: 2026 Political Education Student Survey)

The survey results show that students have a relatively high level of digital technology usage. The highest level was "Fair" at 58.5% (48 students), followed by "Good" at 30.5% (25 students), while the lowest level was "Average" at 11.0% (9 students), and no students were at the "Poor" level. Thus, if we consider students at the "Fair" level or higher, 89.0% of students are able to adapt to the digital environment, indicating that technology has become an essential tool in learning and life. However, the difference between the "Fair" and "Good" levels reflects that students' technology skills, while stable, are not yet truly outstanding. Therefore, it is necessary to continue examining the level of technology use through the amount of time spent on the Internet to gain a more comprehensive understanding of digital competence. This shows that students majoring in Political Education have a relatively high level of access to socio-political information in the digital environment; however, the effectiveness of this information reception still depends on the impact of the digital environment on their awareness, attitudes, and behavior.

**5.2. Factors of Digital Transformation Influencing the Socio-Political Awareness of Political Education Majors**

To evaluate the factors influencing the socio-political awareness of Political Education students, the author conducted a survey using a 5-point Likert scale: (1) Strongly Disagree; (2) Disagree; (3) Neutral; (4) Agree; (5) Strongly Agree.

**Table 5.1. Survey results on positive influencing factors** (Source: 2026 Survey of Political Education Students)

Survey content	Response rate %				
	1	2	3	4	5
1. The development of digital technology makes learning and researching socio-political science more convenient and engaging.	2 (2,4%)	0 (0%)	7 (8,5%)	50 (61,0%)	23 (28,0%)
2. The school has successfully implemented digital learning platforms (LMS, E-learning).	2 (2,4%)	0 (0%)	7 (8,5%)	55 (67,1%)	18 (21,9%)
3. Lecturers actively apply digital technology in teaching political theory subjects.	2 (2,4%)	0 (0%)	11 (13,4%)	49 (59,7%)	20 (24,4%)
4. Students have a habit of searching for information through official sources.	2 (2,4%)	0 (0%)	6 (7,3%)	50 (61,0%)	24 (29,3%)
<b>Overall</b>	8	0	31	204	85

	(2,4%)	(0%)	(9,4%)	(62,2%)	(25,9%)
--	--------	------	--------	---------	---------

The survey results in Table 5.1 show that the factors contributing to the advantages of digital transformation on students' socio-political awareness were rated highly, mainly concentrated at the "Agree" (62.2%) and "Strongly agree" (25.9%) levels. Specifically, the development of digital technology makes learning and researching socio-political issues more convenient and attractive, with 61.0% "Agree" and 28.0% "Strongly agree". In addition, the school's successful implementation of digital learning platforms (LMS, E-learning) received a total of 89.0% "Agree" and "Strongly agree" ratings. At the same time, the teaching activities of lecturers using technology also received 59.7% "Agree" and 24.4% "Strongly agree" votes, along with the habit of using official information sources among students, which also received 61.0% "Agree" and 29.3% "Strongly agree" votes, contributing to a positive orientation of socio-political awareness. However, a small percentage of students still chose "Undecided" or "Disagree," indicating that the effectiveness of these factors depends on the adaptability and proactiveness of each individual. Overall, the above factors facilitate the enhancement of socio-political awareness, but limitations still exist in the information reception process (see Table 5.2).

**Table 5.2. Survey results of factors leading to limitations.** (Source: Survey of Political Education Students in 2026)

Survey content	Response rate %				
	1	2	3	4	5
1. Lack of skills in analyzing, selecting, and processing information in the digital environment.	2 (2,4%)	1 (1,2%)	10 (12,2%)	48 (58,5%)	21 (25,6%)
2. The school has not had many activities to train students in identifying fake news and misinformation.	2 (2,4%)	2 (2,4%)	11 (13,4%)	48 (58,5%)	19 (23,2%)
3. Insufficient guidance on cybersecurity and digital ethics.	3 (3,7%)	3 (3,7%)	10 (12,2%)	45 (54,9%)	21 (25,6%)
4. Still relying on AI or quick summaries instead of researching original documents.	2 (2,4%)	1 (1,2%)	8 (9,8%)	43 (52,4%)	28 (34,1%)
<b>Overall</b>	9	7	39	197	89

	(2,7%)	(2,1%)	(11,9%)	(57,0%)	(27,1%)
--	--------	--------	---------	---------	---------

The survey results in Table 5.2 show that the limiting factors in the impact of digital transformation on students' socio-political awareness were recorded at a relatively high level, mainly concentrated at the "Agree" (57.0%) and "Strongly agree" (27.1%) levels. A prominent limitation is the students' lack of skills in analyzing, selecting, and processing information in the digital environment, accounting for 58.5% "Agree" and 25.6% "Strongly agree". In addition, the school's lack of activities to train students in identifying fake news and misinformation accounted for 58.5% "Agree" and 23.2% "Strongly agree". Furthermore, the lack of adequate guidance on cybersecurity and digital ethics accounted for 54.9% "Agree" and 25.6% "Strongly agree," along with the students' continued reliance on AI or quick summary sources (52.4% "Agree" and 34.1% "Strongly agree"), all of which affect their ability to receive and process information. However, a small percentage of students chose "Undecided" or "Disagree," indicating differences in adaptability and skills among students. Overall, these factors reflect the difficulties students face in receiving and processing socio-political information in the digital environment.

### 5.3 Difficulties and Challenges for Students in Receiving Socio-Political Information in the Digital Environment

*Table 5.3. Difficulties and Challenges in the Digital Environment*

Difficulties and challenges	Quantity	Ratio
1. Difficulty distinguishing between real and fake information on social media	65/82	79,3/100
2. Easily attracted to entertainment content rather than political and social content	63/82	76,8/100
3. Lack of information processing and social critique skills	53/82	64,4/100
4. Lack of habit of verifying sources of information	43/82	52,2/100

The survey results in Table 5.3 show that students majoring in Political Education are facing many difficulties and challenges in receiving socio-political information in the digital environment. The most prominent difficulty is distinguishing between real and fake information on social media, with 79.3% of students admitting to encountering this. In addition, the tendency to be attracted to entertainment content rather than socio-political content is also high at 76.8%. Furthermore, a lack of information processing and social critical thinking skills

accounts for 64.4%, and the inability to verify sources accounts for 52.2%, which are notable difficulties affecting the quality of information reception. Overall, these difficulties and challenges indicate that the digital environment not only affects the effectiveness of information reception but also impacts the formation of socio-political awareness among students.

#### **5.4. Evaluating the Impact of Digital Transformation on Socio-Political Awareness**

Based on the situational analysis, digital transformation has been exerting a profound and regular influence on the socio-political awareness of Political Education majors, inherently linked to technological advancements and educational innovations.

**In terms of extent:** Digital transformation has become a critical determinant governing the access and formation of socio-political consciousness through digital platforms, social networks, and online academic resources, thereby expanding learning spaces and diversifying information.

**In terms of nature:** The impact is double-edged. On the positive side, the digital environment enables students to update information, broaden their understanding, and cultivate critical thinking. Conversely, the prevalence of unverified misinformation, coupled with limited filtering skills or over-reliance on digital tools, can lead to cognitive deviations.

Moreover, the degree of impact is inconsistent among students, depending heavily on individual digital competency, critical thinking abilities, and self-cultivation awareness. In summary, digital transformation simultaneously facilitates the enhancement of socio-political awareness while posing significant challenges that necessitate appropriate solutions in the current context.

### **6. DISCUSSION**

The findings suggest that the factors influencing students' socio-political awareness amidst digital transformation can be categorized into three main pillars: digital technology platforms, students' digital competency, and the orienting role of educational institutions and lecturers. While digital platforms expand information accessibility, digital competency plays a vital role in filtering, processing, and evaluating that information. Meanwhile, schools and lecturers act as navigators, adjusting the students' reception process. However, the study also reveals that the effectiveness of digital transformation in shaping awareness depends on how the digital environment is exploited. Current limitations suggest that students have not yet fully mastered the process of receiving and processing information. This confirms that digital transformation is not merely an objective factor but is also closely tied to the subjective role of the student as a cognitive agent. Consequently, maximizing the benefits of digital transformation requires

synchronous coordination among institutions, lecturers, and students to promote positive aspects and mitigate negative impacts.

## 7. POLICY IMPLICATIONS AND SOLUTIONS

Given the dual-sided impact of digital transformation, the following solutions are proposed:

**For Educational Institutions:** Schools should continue to refine the digital educational environment holistically. Beyond infrastructure investment, emphasis must be placed on organizing activities to foster digital skills, particularly misinformation identification, source verification, and critical thinking. Furthermore, cybersecurity and digital ethics should be integrated into the curriculum to orient student behavior and perception.

**For Lecturers:** Educators need to innovate teaching methodologies by integrating digital technology, balancing knowledge transmission with the development of cognitive capacity. It is essential to guide students toward official sources, encourage the study of original documents, and discourage over-reliance on AI-generated summaries or tools.

**For Political Education Students:** Students must proactively enhance their digital competency, specifically in filtering and evaluating information. Establishing a habit of accessing official news and combining technological utility with in-depth research is crucial for developing independent thinking and political fortitude.

## 8. CONCLUSION

Digital transformation is significantly shaping the socio-political awareness of Political Education majors. While the digital landscape provides favorable conditions for knowledge expansion and socio-political understanding, students still grapple with identifying fake news, lack analytical skills, and exhibit a dependency on entertainment or automated tools. These limitations indicate that students' socio-political awareness remains unstable and susceptible to digital environmental pressures. In conclusion, digital transformation presents both opportunities and challenges. Enhancing socio-political awareness in this era requires a collaborative effort between schools, lecturers, and students to leverage positive drivers while minimizing detrimental effects.

## REFERENCES

- Politburo. (2024). *Resolution No. 57-NQ/TW on breakthroughs in the development of science, technology, innovation, and national digital transformation.*
- Politburo. (2025). *Resolution No. 71-NQ/TW dated August 22, 2025, on breakthroughs in education and training development.* <https://tulieuvankien.dangcongsan.vn/he-thong-van-ban/van-ban-cua-dang/nghi-quyet-so-71-nqtw-ngay-2282025-cua-bo-chinh-tri-ve-dot-pha-phat-trien-giao-duc-va-dao-tao-11771>

- Ministry of Information and Communications. (2021). *Report on the digital transformation index of ministries, ministerial-level agencies, government-attached agencies, and provinces/centrally-run cities in 2021*. Information and Communications Publishing House.  
<https://dx.gov.vn/static/DTI%202021%20giao%20in.pdf>
- Government. (2024). *Decree No. 147/ND-CP dated November 9, 2024, on the management, provision, and use of Internet services and online information*.
- DataReportal. (2025). *Digital 2025: Vietnam*. Global Digital Insights.  
<https://datareportal.com/reports/digital-2025-vietnam>
- Duong, X. S. (2015). *Textbook on journalism and communication theory*. Education Publishing House.  
<https://www.scribd.com/document/696508389/Giao-Trinh-L%C3%BD-Thuy%E1%BA%BFT-Truy%E1%BB%81n-Thong>
- Dinh, T. Q. H. (2024). Developing critical thinking for students in higher education. *Vietnam Journal of Educational Sciences, (1)*, 20–25.
- Nguyen, N. D. (2025). Enhancing political awareness for students: Perspectives from the roles of schools and society. *State Management Review*, 2815–2831.
- Nguyen, T. H. (2023). Factors affecting the political mettle of Vietnamese students today. *Journal of Science, (68)*, 61–70.
- Nguyen, T. N. (2025). Applying digital transformation in teaching political theory to students. *Hoa Binh University Journal of Science and Technology, (16)*, 101–107.  
<https://daihochoabinh.edu.vn/wp-content/uploads/2025/05/15.-ThS.-Nguyen-Thi-Ngoc.pdf>
- National Assembly. (2025). *Law on Cybersecurity (Draft)*.
- Prime Minister. (2020). *Decision No. 749/QĐ-TTg dated June 3, 2020, approving the National Digital Transformation Program through 2025, with a vision toward 2030*.  
<https://chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=200163>
- Prime Minister. (2022). *Decision No. 131/QĐ-TTg dated January 25, 2022, approving the project "Strengthening the application of information technology and digital transformation in education and training for the 2022–2025 period, with a vision toward 2030"*.  
<https://vanban.chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=205236&classid=0>
- Prime Minister. (2022). *Decision No. 146/QĐ-TTg dated January 28, 2022, approving the project "Raising awareness, universalizing skills, and developing human resources for national digital transformation through 2025, with a vision toward 2030"*.  
<https://chinhphu.vn/?pageid=27160&docid=205276>
- Tran, C. P., Nguyen, T. L., Chu, T. A., Truong, X. C., Nguyen, T. H. V., Luong, V. T., & Do, D. L. (2019). Digital transformation in education. *Vietnam Journal of Educational Sciences, (17)*, 1–7.
- Tran, Q. T. (2023). Impact of social media on political propaganda methods for youth. *State Management Review*.
- Dictionary of Philosophy*. (1986). Progress Publishers.
- Vu, D. (2008). *Dictionary of Psychology*. Encyclopedia Dictionary Publishing House.
- Vo, P. H., & Tran, M. N. (2025). Strengthening political awareness capacity for university students in the social media era. *Journal of Educational Psychology, (10)*, 210–213.

## ENERGY-EFFICIENT STAR-RIS-ASSISTED UAV NETWORKS USING DEEP REINFORCEMENT LEARNING: SCMA VS. PD-NOMA

**Benmeziane Imad-Ddine Ghomri<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>LTT-Research Laboratory, Faculty of Technology, University of Tlemcen, Tlemcen, Algeria

**Aicha Meghraoui<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>LTTNS Laboratory, Djillali Liabes University, Sidi Bel Abbes, Algeria

### Abstract

This letter investigates the downlink transmission of an unmanned aerial vehicle (UAV)-based aerial base station enhanced by sparse code multiple access (SCMA) and a simultaneously transmitting and reflecting reconfigurable intelligent surface (STAR-RIS). We aim to maximize the system's total energy efficiency (EE) by formulating a complex joint optimization problem.

Specifically, we propose a Deep Reinforcement Learning (DRL) framework based on the Proximal Policy Optimization (PPO) algorithm to dynamically control the SCMA mapping matrix, power allocation, UAV trajectory, and STAR-RIS phase shifts. Simulation results indicate that the proposed STAR-RIS-SCMA scheme significantly outperforms benchmarks utilizing power-domain non-orthogonal multiple access (PD-NOMA) and conventional reflecting-only RIS.

**Keywords:** DRL, NOMA, STAR-RIS, SCMA, UAV.

## FOUR POINT INTERNAL QUILTING SUTURE TECHNIQUE FOR THE MANAGEMENT OF MODERATE TO SEVERE GYNECOMASTIA

**Dr. Naveen Kumar**

Senior Plastic & Cosmetic Surgeon, Department of Plastic Surgery, Yatharth Superspeciality Hospital, Greater Noida, India

ORCID: 0000-0002-5222-2743

### **Abstract**

Gynecomastia is a common condition in males characterized by enlargement of the male breast due to glandular proliferation and excess adipose tissue. Surgical correction is often required in moderate to severe grades to achieve optimal aesthetic and functional outcomes. One of the most common early complications following gynecomastia surgery involving liposuction and gland excision is postoperative hematoma formation. Various techniques have been described to reduce this complication, including the use of tranexamic acid, suction drains, compressive dressings, and external quilting sutures. Internal quilting suturing techniques have been previously described in procedures such as abdominoplasty to minimize dead space and reduce fluid collection. In this study, we demonstrate a four-point internal quilting suture technique for the management of moderate to severe gynecomastia. A total of 350 patients with moderate to severe gynecomastia (Simon Grade IIB to Grade III) were operated between January 2021 and January 2023. In all patients, liposuction followed by gland excision through a periareolar incision was performed. Wound closure was achieved using a four-point internal quilting suture technique, eliminating the need for suction drains in all cases. Postoperatively, compression garments were applied to all patients. Patients were followed up for a period of 18 months. Hematoma formation occurred in five patients (1.4%) during the postoperative period and all cases were managed conservatively without surgical intervention. All patients demonstrated satisfactory healing and favorable postoperative outcomes. The four-point internal quilting suture technique is a simple, effective, and cost-efficient method for reducing hematoma formation following surgery for moderate to severe gynecomastia. The technique is easy to learn, reproducible, and may help avoid the routine use of suction drains.

**Keywords:** Gynecomastia, Quilting Sutures, Hematoma Prevention, Liposuction, Gland Excision

## ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF S-TRIAZINE USING A BDD /CARBON FELT CELL

**FARAH I Hakima, Mohamed Errami, Rachid Ait Akbour**

Applied chemistry Physical laboratory, faculty of sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.  
Laboratory of sustainable innovation and applied research (LIDRA), International University of Agadir, Universiapolis.

Applied chemistry Physical laboratory, faculty of sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

### **Abstract:**

This study aims to evaluate the degradation efficiency of a triazine family pesticide, a toxic pollutant released into the environment during its use in the agricultural sector, using one of the advanced oxidation processes (AOP), specifically electro-oxidation, in an open undivided electrolytic cell (BDD/carbon felt). The role of the BDD anode was crucial, as it provides a high oxygen evolution potential, promoting the efficient mineralization of organic matter. Factors such as current density, temperature, pH, and compound concentration were analyzed to assess their impact on the degradation rate. The results indicate that the removal rate reached 99.9% after 40 minutes of treatment at room temperature. The BDD electrode demonstrated the best performance in degrading this pesticide under optimal conditions: a current density of 10 mA/cm<sup>2</sup>, a pH of 3, and a temperature of 25 ± 3 °C. The high efficiency of this electrochemical method can be attributed to direct electro-oxidation on the BDD surface and the involvement of hydroxyl radicals ( $\bullet\text{OH}$ ).

### **Keywords :**

- Anodic oxidation
- Advanced oxidation process (AOP)
- Degradation
- Wastewater treatment
- BDD/Carbon felt
- Hydroxyl radical ( $\text{OH}^\circ$ )

## PREVALENCE AND ANTIBIOTIC RESISTANCE OF BACTERIA RESPONSIBLE FOR NOSOCOMIAL INFECTIONS IN A HOSPITAL IN ALGERIA

**BERSALI Silia**

University of Dr. YAHIA Fares, MEDEA, Algeria

### ABSTRACT

Nosocomial infections, defined as infections acquired in a hospital setting after 48 to 72 hours of admission, represent a major public health challenge. Often associated with invasive procedures, insufficient hygiene, or inappropriate antibiotic use, these infections lead to increased morbidity and mortality, prolonged hospital stays, and higher healthcare costs.

This study aims to assess the prevalence of bacteria responsible for nosocomial infections and their antibiotic resistance profiles in an Algerian hospital. A total of 340 bacterial isolates were collected from various clinical samples (urine, cerebrospinal fluid, blood cultures, and pus) obtained from patients hospitalized for more than 72 hours. Bacterial identification and antibiotic susceptibility testing were performed according to CLSI guidelines.

The results show a predominance of Gram-negative bacteria, among which *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Staphylococcus aureus* (although the latter is a Gram-positive bacterium) are the most commonly isolated species. The data also indicate that male patients are more frequently affected by these infections than female patients. The internal medicine department recorded the highest number of cases, with most isolates originating from pus samples.

Finally, a marked resistance to third-generation cephalosporins was observed in many of the isolates, reflecting the circulation of multidrug-resistant strains within the hospital.

These findings highlight the urgent need for strengthened microbiological surveillance in Algerian hospitals, strict hygiene protocols, optimized antibiotic use, and continuous training of healthcare personnel to limit the spread of multidrug-resistant bacteria.

**Keywords:** nosocomial infections, gram negative bacteria, multidrug resistant

## DATA CAPITALIZATION OF *LAURUS NOBILIS* L: THERAPEUTIC AND NUTRITIONAL VALORIZATION OF A FOOD AND MEDICINAL PLANT IN THE CENTRAL PLATEAU OF MOROCCO

Jaayefar, Fatima-ezzahra<sup>1\*</sup>, Dahmani, Jamila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ibn Tofail University, Laboratory of Plant, Animal and Agro-Industry Productions, Kenitra, Morocco

### Abstract.

*Laurus nobilis* L., commonly known as sweet bay leaf, true laurel, or Turkish laurel, is a small evergreen tree of the Lauraceae family. Widely used in cuisines worldwide, including Morocco for flavoring dishes, it also possesses a rich medicinal tradition. This study aims to synthesize and capitalize on the available scientific knowledge regarding the applications and potential of this plant resource, focusing on its potential valorization in the context of the Central Plateau of Morocco. Data were gathered from published studies exploring the phytochemistry, pharmacology, and traditional uses. The synthesis indicates that *Laurus nobilis* is a significant source of bioactive compounds. Phytochemical analysis reveals the presence of sesquiterpene lactones (costunolide, dehydrocostuslactone, santamarine), essential oil (rich in 1,8-cineole,  $\alpha$ -terpinyl acetate), and flavonol glycosides. The therapeutic valorization of *Laurus nobilis* lies in this richness of compounds, which confer demonstrated pharmacological activities: antioxidant, neuroprotective (notably in models of Parkinson's disease), anticonvulsant, analgesic, anti-inflammatory, antimicrobial (antibacterial, antifungal, antiviral), and wound-healing. The socio-economic valorization of *Laurus nobilis* on the Central Plateau, an agricultural region, could involve optimizing the traditional cultivation and harvesting of leaves, followed by controlled shade-drying. This established practice would allow for the standardization of raw material quality for use in the pharmaceutical, nutraceutical, and agri-food sectors (as a natural food preservative). This data capitalization establishes a knowledge base for sustainable post-harvest management and processing of this species, thereby contributing to food security and the local economy through the creation of high-value-added products.

**Keywords:** *Laurus nobilis*, Data Capitalization, Phytochemistry, Therapeutic Valorization, Essential Oil, Central Plateau of Morocco.

## LABOUR DYNAMICS IN ARCHITECTURAL DRAWING PRODUCTION: A COMPARATIVE STUDY OF ANALOGUE AND DIGITAL METHODS

**Rasheed Sekore Busari**

Department of Technology Education (Building)  
Emmanuel Alayande University of Education

**Abdulhameed Folorunso Busari**

ARKRAS Consultancy Services

### **Abstract**

The rapid transition from analogue drafting to digital platforms has significantly transformed architectural production processes, particularly in terms of labour structure, skill requirements, and workflow efficiency. This study examines the labour dynamics involved in architectural drawing production by comparatively analysing analogue and digital methods. The research aims to evaluate differences in labour input, time expenditure, skill intensity, and productivity across both approaches, with a view to understanding their implications for contemporary drafting of architectural drawings for building construction practice. The research was carried out in Oyo with a mixed-methods approach, combining time-motion studies, structured observations, and questionnaire surveys administered to architectural practitioners, draughtsmen, and students. Analogue production is assessed through manual drafting techniques involving drawing boards and traditional instruments, while digital production focuses on computer-aided design (CAD) and building information modelling (BIM) environments. Key variables analysed include task completion time, number of personnel required, error frequency, revision flexibility, and overall workflow efficiency during the production of these drawings. Preliminary findings indicate that while analogue methods demand higher manual labour input and longer production time, they contribute to foundational skill development and conceptual clarity. In contrast, digital methods significantly reduce production time, enhance precision, and improve coordination, though they require higher levels of technical proficiency and access to digital infrastructure. The study further reveals a shift in labour dynamics from manual dexterity to cognitive and technological competencies which attracts enormous costs. The paper concludes that although digital methods offer substantial efficiency gains, a hybrid approach integrating both analogue and digital skills is essential for holistic architectural training and practice. The findings provide valuable insights for architectural education, professional practice, and policy formulation, particularly in developing contexts where the transition to digital systems remains very slow.

**Keywords:** Analogue, digital, CAD, BIM, skill development and hybrid approach

## IMPACT OF INNOVATIVE TECHNICAL SKILL ACQUISITION ON MENTAL WELL-BEING AMONG YOUTHS IN RIVERS STATE, NIGERIA

<sup>1</sup>Dr. C.O. Ochogba., & <sup>2</sup>Moses Umiaghe

<sup>1</sup>Department of Automobile Technology Education

<sup>2</sup>Department of Electrical/Electronics Technology Education

<sup>1&2</sup>Federal College of Education (Technical), Omoku, Nigeria

### Abstract

This study examined the impact of innovative technical skill acquisition on mental well-being among youths in Rivers State, Nigeria, against the backdrop of increasing demand for technical competencies in the modern labour market and rising concerns over youth psychological health. The study adopted a descriptive survey research design to investigate how engagement in innovative technical skills influenced key dimensions of mental well-being, including self-esteem, anxiety, life satisfaction, and psychological resilience. A structured questionnaire was designed and administered to a representative sample of youths across selected areas in Rivers State. Data collected were analyzed using descriptive statistics, including mean and standard deviation, to determine the extent of influence of innovative technical skill acquisition on the identified well-being indicators. Findings from the study revealed that participation in innovative technical skill acquisition contributed positively to improved self-esteem, enhanced life satisfaction, reduced anxiety levels, and strengthened psychological resilience among youths. The results further showed that youths with higher exposure to technical skill training demonstrated better psychological adjustment and coping mechanisms in a dynamic and competitive labour environment. The study concluded that innovative technical skill acquisition played a significant role not only in economic empowerment but also in promoting mental well-being among youths. It was therefore recommended that policymakers, educational institutions, and training organizations prioritize the integration of innovative technical skill programs into youth development initiatives as a strategy for enhancing both employability potential and psychological health.

**Keywords:** Innovative technical skills, mental well-being, self-esteem, anxiety, youth development, Rivers State.

## AN ADAPTIVE AND INCLUSIVE USABILITY MODEL FOR MOBILITY APPLICATIONS FOR VISUALLY IMPAIRED USERS

**\*Dr. Samar Jamal Hassan Mahmoud,**  
**Dr. Nada Ali Abozaid,**  
**Maria Fadhel Alfadhel ,**  
**Albandari Zahid Alshammari,**  
**Kholoud Amin Said Eid,**  
**Rahma Mahmoud Ali Al-Rahail**  
Universiti Malaysia Terengganu (UMT), Malaysia

### **Abstract**

#### **Introduction and Purpose:**

In the contemporary digital era, the convergence of computer science and information systems has emerged as a fundamental driver for the development of intelligent, user-centric technologies that enhance both user experience and service accessibility. This advancement is particularly critical for individuals with visual impairments, who continue to encounter systemic and interactional barriers when engaging with digital platforms. Despite the rapid proliferation and global adoption of mobility-oriented mobile applications, a significant proportion of these systems remain insufficiently equipped to accommodate the accessibility requirements of visually impaired users. Such deficiencies not only hinder effective interaction but also compromise user autonomy, diminish trust and confidence, and ultimately restrict equitable access to digital services.

From a theoretical and practical perspective, addressing these limitations necessitates a rigorous examination of the underlying usability constructs that shape user interaction and accessibility outcomes. Accordingly, this study adopts a user-centered and accessibility-driven perspective to investigate the role of core usability dimensions, namely visual design, navigation design, and information design in enhancing the competitive advantage of mobility applications. By integrating these dimensions within a comprehensive analytical framework, this research aims to contribute to the existing body of knowledge by providing empirically grounded insights into how inclusive usability design can serve as a strategic lever for improving both accessibility and market competitiveness.

#### **Materials and Methods:**

A questionnaire was distributed to 400 visually impaired individuals in Jordan to explore how these design elements affect the applications' market position and overall effectiveness. The research is divided into two major parts: the first focuses on identifying the challenges, preferences, and needs of visually impaired users, while the second applies these findings to develop an accessible, intuitive, and user-friendly e-transportation application.

**Results:**

The findings revealed that visual design had the greatest effect on competitive advantage ( $\beta = 0.328$ ,  $p = 0.000$ ), followed by navigation design ( $\beta = 0.268$ ,  $p = 0.001$ ) and information design ( $\beta = 0.213$ ,  $p = 0.001$ ). Additionally, the inclusion of the Technology Acceptance Model (TAM) enhanced the model's explanatory power ( $\beta = 0.472$ ,  $p = 0.000$ ) and moderated the relationship between user interface design and competitive advantage ( $\beta = 0.170$ ,  $p = 0.028$ ).

**Discussion and Conclusion:**

The study concludes that visual, navigation, and information design significantly contribute to strengthening the competitive advantage of e-transportation applications, with visual design being the most influential factor. Supported by TAM analysis, the results emphasize that improving usability and accessibility through structured interfaces, voice-assisted features, and clear navigation cues enhances user satisfaction, loyalty, and independence, particularly among visually impaired users.

**Keywords:** E-Transportation; Accessibility; Visually Impaired Users; User-Centered Design; Mobile Application Competitiveness

## SYNTHESIS, CRYSTAL STRUCTURE AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF A DECAVANADATE COMPOUND

**Rawia NASRI<sup>1</sup>, Regaya KSIKSI<sup>1,2</sup> Najet SRAIRI-ABID<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> University of Tunis El Manar, Faculty of Sciences of Tunis, Laboratory of Materials, Crystal Chemistry and Applied Thermodynamics, 2092 El Manar II, Tunis, Tunisia.

<sup>2</sup> University of Carthage, High Institute of Preparatory Studies in Biology and Geology (ISEP-BG) of Soukra, Tunisia.

<sup>3</sup> University of Tunis El Manar, Laboratory of Biomolecules, Venoms and Theranostics Applications, Pasteur Institute of Tunis, 13, Place Pasteur 1002 Tunis-Belvédère, Tunisia

### Abstract

Polyoxometalates (POMs) are considered excellent receptor molecules due to their structural diversity and can interact with organic ligands and metal ions to form supramolecular compounds [1]. As a branch of POMs, decavanadate exhibits several pharmacological activities, including anticancer [2], antiviral [3] and antibacterial effects [4]. Optical studies revealed that the complex exhibits a wide band gap. The prepared compound showed an interesting antitumoral activity.

**Keywords:** *Decavanadate; Synthesis; antitumoral activity.*

### References

1. E. Coronado, C. Giménez-Saiz, C. J. Gómez-García, *Coord. Chem. Rev.* 249, 2005, 1776.
2. Dumitrescu, A. Maxim, C. Badea, M. Rostas, A.M. Ciorît, A. Tirsoaga, A. Olar, *R. Int. J. Mol. Sci.* 2023, 24, 17137.
3. Daniel Favre, Jackson F. Harmon, Ali Zhang, Matthew S. Miller, Igor A. Kaltashov, *Journal of Inorganic Biochemistry* 234, 2022, 111899.
4. Ghada Abd-Elmonsef Mahmoud, Ahmed B. M. Ibrahim, Peter Mayer *Chemistry select* 6, 2021, 3782.

## SIMULTANEOUS REMOVAL OF ANIONIC AND CATIONIC DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING NICKEL–IRON LAYERED DOUBLE HYDROXIDE NANOSHEETS

**TAJAT Naoual, EL MOUHRI Wail, EI HAYAOUI Widad, NADIF Iliass, TALEBI Jamal, BAKAS Idriss, TAMIMI Malika, ASSABBANE Ali, QOURZAL Samir**  
Laboratory of applied physical chemistry, Faculty of Sciences Ibn Zohr University, BP 8106 Dakhla, 80060 Agadir, Morocco.

### **Abstract:**

The removal of multiple organic dyes contained in industrial wastewater poses a significant challenge, and the underlying mechanisms involved in their simultaneous removal are still not fully understood. In this work, Nickel–Iron layered double hydroxides nanosheets were successfully synthesized by coprecipitation method at constant pH and were characterized by powder x-ray diffraction, Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive Spectroscopy, and their effectiveness in removing anionic dyes Remazol Red 23, and Indigo Carmine was investigated by studying several parameters such as initial solution pH, adsorbent dose, dye concentration, and temperature effect. The as-prepared nanocomposite exhibited excellent removal efficiency for Remazol Red 23 and Indigo Carmine reaching the maximum adsorption capacities of 133.04 mg.g<sup>-1</sup> and 115.59 mg.g<sup>-1</sup>, respectively. The simultaneous removal of binary anionic dye mixture was studied and proved the high performance of the synthesized material due to the electrostatic attraction. Also, a cationic dye Basic Yellow 28 was successfully removed when it was added to the binary anionic dyes' mixture, and this was explained by two proposed mechanisms: surface charge modification and the synergetic effect of dyes molecules.

**Keywords:** *Adsorption · Anionic dyes · Binary system · Cationic dye · Layered double hydroxide*



Issued: 26.04.2026  
ISBN: '978-625-378-636-6'

