

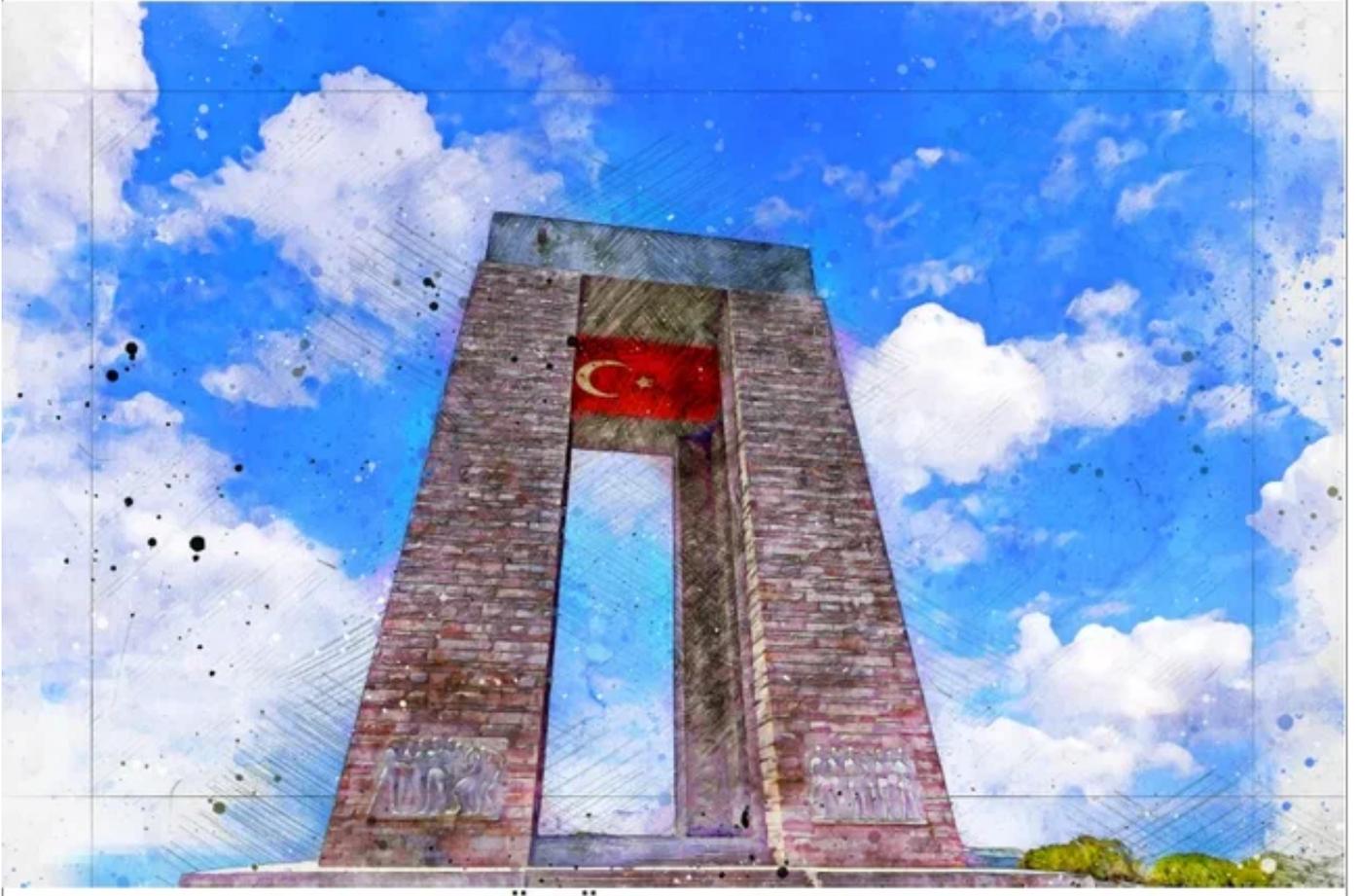
CONFERENCE BOOK



ÇANAKKALE
25 - 27 TEMMUZ 2025

TROIA

2. ULUSLARARASI FEN ve UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



TROIA 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

JULY 21 - 23, 2025

CANAKKALE

ISBN: 978-625-5962-99-7

Published by : Academy Global Publishing House





**TROIA 2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JULY 25-27, 2025
CANAKKALE**

Edited By
Prof. Dr. Hülya Çiçek

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

**TURKEY – Singapore – Nigeria- China- Saudi Arabia- Indonesia- Kazakhstan- Malaysia-
India- Pakistan – Japan- Mexico- Egypt- Canada- Kenya- South Korea- Brazil- Thailand-
Poland- Iran- UK- Taiwan- Czech Republic- Libya-**

PRESENTATION

Oral presentation

PERCENTAGE OF PARTICIPATION

More than 50 % of paper are presented by participants from maintained countries.
37 papers from Turkey and 54 paper from other countries.

Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"

LANGUAGES

Turkish, English, Russian, Persian, Arabic

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference: Prof. Dr. Hülya Çiçek
Prof. Dr. Ali Bilgili
Prof. Dr. Naile Bilgili
Prof. Dr. Başak Hanedan
Prof. Dr. Hajar Huseynova
Prof. Dr. Dwi Sulisworo
Prof. Zain Musa
Prof. Dr. Sameer Jain
Prof. Yakup Babayev
Prof. Dr. Suyatno
Prof. Dr. Hasan Akan
Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak
Assoc. Prof. Dr. Dhési Ari Astuti
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın
Assoc. Prof. Dody Hartanto
Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn
Assoc. Prof. Nazile Abdullazade
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz
Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırincioğulları
Assist. Prof. Ihwan Ghazali
Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərifxan oğlu
Assist. Prof. Dr. Məhruki Dövlətzadə
Assist. Prof. Dr. Naci Bütükqaracıyan
Assist. Prof. Dr. Songül ATAĞ
Lecturer Mehmet Nuri Ödük
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou
Dr. Dadash Mehravari
Dr. Gültekin Gürçay
Dr. Aynur Əliyeva
Dr. Amaneh Manafidizaji

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
 Without permission can't be duplicate or copied.
 Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
 Academy Conference–2025 ©

Issued: 30.08.2025

ISBN: 978-625-5962-99-7

Scientific & Review Committee

- Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye
Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye
Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye
Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye
Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye
Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye
Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye
Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye
Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan
Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia
Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina
Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia
Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan
Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India
Prof. Dr. İzzet Gümüş – Türkiye
Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye
Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye
Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China
Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan
Prof. Dr. Suyatno – Indonesia
Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia
Prof. Dr. Sameer Jain – India
Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran
Prof. Dr. Hasan Akan – Türkiye
Prof. Dr. Ika Maryani - Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dhési Ari Astuti – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Sevra Fıncıoğulları - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Özbekistan
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – İran
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaristan
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – İndonezya
Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azərbaycan
Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – İndiya
Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azərbaycan
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azərbaycan
Assoc. Prof. Ali Vandshoari - İran
Assist. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
Assist. Prof. K. R. Padma – İndiya
Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan
Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordaniya
Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - İndonezya
Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – İran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylibay - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Özbekistan
Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Aljerya
Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakistan
Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - İndiya
Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakistan
Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakistan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam
Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye
Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunaliyeva - Kirgizia
Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China
Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracıgan – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
Dr. Ayşe Baran - Türkiye
Dr. Dadash Mehravari – Iran
Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Dr. Sonali Malhotra – India
Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı : E-98102723-903.07-475454
Konu : Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -

GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksekg@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
July 25-27, 2025
CANAKKALE

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1>

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderatör olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

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 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,

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|---|--------------------------------|--|--|---|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 1 | Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI | 1 | MÜZİK SINIFI OLMAYAN ORTAOKULLARDA MÜZİK ÖĞRETMENLERİNİN MÜZİK DERSİNDE KARŞILAŞTIĞI SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ | Fatma Beste LÖK Doç. Dr. Melike ÖZYURT |
| | | 2 | TYMM BİRİNCİ SINIF TÜRKÇE DERS KİTABI ETKİNLİKLERİNİN ÜST DÜZEY DÜŞÜNME BECERİLERİ BAĞLAMINDA İNCELENMESİ | Ebru ARSLAN Doç. Dr. Melike ÖZYURT |
| | | 3 | GELİŞEN TEKNOLOJİLER KARŞISINDA ÖĞRETMENLERİN MEDYA OKURYAZARLIĞININ ARTAN ÖNEMİ | Yüksek Lisans, Ömer Aslan Doç. Dr., Murat Okur |
| | | 4 | VALUES AND PERSONALITY | Sümeyye AYATA Doç. Dr. Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ |
| | | 5 | PSYCHOLOGICAL FOUNDATIONS OF VALUES | Sümeyye AYATA Doç. Dr. Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ |
| | | 6 | ALEXANDRE DUMAS'IN SİYAH LALE ESERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ | Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI |
| | | 7 | FAKİHE ODMAN'IN SEVGİ VE SAYGI ROMANINDA ERKEN CUMHURİYET DÖNEMİ MODERNLEŞMESİ VE KADIN | Yüksek Lisans Öğrencisi, Feyza HACIBEKTAŞOĞLU |
| | | 8 | MESLEK FOLKLORU BAĞLAMINDA UĞUR VE UĞURSUZLUĞA DAİR İNANIŞLAR | Dr. Öğr. Üyesi Sezai DEMİRTAŞ |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|---|------------------------|--|--|---|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 2 | Doç. Dr. Ali SOLUNOĞLU | 1 | KİME NE TATLI GELİR? ZİHİNSEL TAT KODLARI VE KÜLTÜREL ÇAĞRIŞIMLAR | Doç. Dr. Ali SOLUNOĞLU |
| | | 2 | PSİKOLOJİK MENÜ: FİYAT, ESTETİK VE TAT ÜZERİNE ZİHİNSEL KODLAR | Doç. Dr. Ali SOLUNOĞLU |
| | | 3 | KARİYER PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK ÖZ YETERLİĞİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN VOSVIEWER İLE BİBLİYOMETRİK ANALİZİ | Dr. Öğr. Üyesi Osman SÖNER |
| | | 4 | ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN KARİYER UYUMLULUĞUNUN YORDAYICISI OLARAK KARİYER ENGELLERİ | Dr. Öğr. Üyesi Hazel DURU Dr. Öğr. Üyesi Osman SÖNER |
| | | 5 | DEPRESYON DÜZEYİ İLE BEDEN, BESLENME VE EGZERSİZ KARŞILAŞTIRMA YÖNELİMİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ | Doç. Dr. Hande Baba Kaya Prof. Dr. Selahattin Akpınar Dr. Öğretim Üyesi Öznur Akpınar İrem Memedoğlu |
| | | 6 | ÖZEL EĞİTİM VE REHABİLİTASYON MERKEZLERİNDE GÖREV YAPAN ÖĞRETMENLERİN ENGELLİ BİREYLERE YÖNELİK DUYGUSAL MESAFELERİ İLE İŞ TATMİN DÜZEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ | Prof. Dr. Selahattin Akpınar Doç. Dr. Hande Baba Kaya Dr. Öğretim Üyesi Öznur Akpınar Yusuf Şahin |
| | | 7 | TOPLUMSAL CİNSİYET ROLLERİ İŞİĞİNDA KADIN SPORCULAR VE KARANLIK ÜÇLÜ: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME | Dr. Öğr. Üyesi, Sabiha Gizem ENGİN |
| | | 8 | Dijital Gözetim ve Veri Kapitalizmi: Biz mi Onu Kullanıyoruz, O mu Bizi? | Yüksek Lisans Öğrencisi Gülin KÜÇÜKKAHRAMAN |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | |
|--|-----------------------|--|--|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK | 1 PHARMACOLOGICAL AND THERAPEUTIC PROPERTIES OF HYPERICUM PERFORATUM (ST. JOHN'S WORT) | Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK |
| | | 2 FROM TRADITIONAL MEDICINE TO MODERN SUPPLEMENTS: HEALTH ASSESSMENT OF TRIBULUS TERRESTRIS | Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK |
| | | 3 AKCİĞER HASTALIKLARINDA SANAL GERÇEKLİK DESTEKLİ REHABİLİTASYONUN DİSPNE ÜZERİNE ETKİSİ | Doktora Öğr. Zeynep Betül ÖZCAN, |
| | | 4 HEALTHIER MEAT PRODUCTS: CURRENT STRATEGIES TO REDUCE NITROSAMINE FORMATION IN CURED MEAT PRODUCTS | Assist. Prof. Dr. N. MEZİYET DİLEK |
| | | 5 EFFECTS OF PERSIMMON (DIOSPYROS KAKI L.) PEEL POWDER ON THE PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF YOGURT | Asst. Prof. Dr., Melike DEMİRKOL Hiba Tullah ALHAMDOW |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|--|
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YEKTA | 1 | NECİP FAZIL KISAKÜREK'İN SİYASET ANLAYIŞINDA KADININ YERİ | Dr. Öğr. Üyesi Elif KALDIRIMOĞLU TÜRKOĞLU |
| | | 2 | İBN HAZM'İN VA'D VE VA'İD ANLAYIŞI BAĞLAMINDA MUVAZENE TEORİSİ | Dr. Öğr. Üyesi Abdullah YEKTA |
| | | 3 | ÜRETKEN YAPAY ZEKÂNIN KELÂM EKOLLERİNE GÖRE İNCELENMESİ | Dr. Buket ATAMAN |
| | | 4 | ÜRETKEN YAPAY ZEKÂNIN KÖTÜYE KULLANILMASINA YÖNELİK KELÂMÎ BAKIŞ | Dr. Buket ATAMAN |
| | | 5 | THE TOPONYM “SHUSHA” IN FOLKLORE EXAMPLES AND WRITTEN LITERATURE | Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|---|-------------------|---|---|--|
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Dr. Fulya DOĞRUEL | 1 | ONE NEIGHBORHOOD TWO WORLDS | Belen ÇAKAN Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN İmren Öz KESER |
| | | 2 | HÜSEYİN KARABULUT' S WORKS AND CONTRIBUTIONS TO ÇANAKKALE FOLK MUSIC | Belen ÇAKAN Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN |
| | | 3 | MUSIC, CULTURAL MEMORY AND SOCIAL TRANSFORMATION: REFLECTIONS FROM THE NARRATIVES OF MUSICIANS IN İZMİR | Dr. Fulya DOĞRUEL |
| | | 4 | ALMAN-SOYVET SALDIRMAZLIK PAKTI' NIN TÜRK BASININA YANSIMALARI | Bilim Uzmanı, Latif Burak VURALGİL |
| | | 5 | THE INFLUENCE OF THE CRITICAL DESICIONS ON WOMEN' S LIVES IN CARYL CHURCHILL' S TOP GIRLS | Yüksek Lisans Öğrencisi, Hanife ÖNAL |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|--|------------------------------|--|---|---|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 6 | Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ | 1 | Yağlı Tohumlu Bitkilerde Ağır Metallerin Etkisi: Tarımsal açılarından bir inceleme | Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR |
| | | 2 | EFFECTS of DIFFERENT DOSES of MOLASSES APPLICATION on SOME BIOLOGICAL PROPERTIES of SOILS | Yük. Lis. Öğr. İbrahim N. I. DRBAS Prof. Dr. Serdar BİLEN |
| | | 3 | EFFECTS of STUBBLE BURNING on the BIOLOGICAL PROPERTIES of SOILS WHEAT GROWING | Yük. Lis. Öğr. İsmail DENİZOĞLU Prof. Dr. Serdar BİLEN |
| | | 4 | ODUN SİRKESİ PRİMİNG UYGULAMALARININ ÇEMENDE ÇİMLENMEYE ETKİSİ | Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI Doç. Dr. Gülen ÖZYAZICI Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ |
| | | 5 | KURAKLIK STRESİNİN ÇİMLENMEYE ETKİSİ: BURÇAK TOHURLARI ÜZERİNDE BİR İNCELEME | Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI Doç. Dr. Nizamettin TURAN |
| | | 6 | GENOTİP SEÇİMİNDE MODERN BİTKİ ISLAHINDA MTSI VE MGIDI İNDEKSLERİNİN ÖNEMİ | Dr. Öğr. Üyesi Figen CERİTOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Mustafa CERİTOĞLU |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|------------------------|---|--|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Prof. Dr. Helena Novak | 1 | SIMULATING FUNDAMENTAL PROCESSES OF HUMAN CONSCIOUSNESS | Dr. Leila Haddad |
| | | 2 | EXPLORING THE ROLE OF PSYCHOSOCIAL FACTORS IN ADDICTION RECOVERY: INSIGHTS FROM INDIA | Dr. Priya Mehta Dr. Arjun Desai |
| | | 3 | IMPROVING ORGANIZATIONAL JUSTICE IN INCENTIVE ALLOCATION WITHIN THAILAND'S PUBLIC SECTOR | Assoc. Prof. Dr. Somchai Rattanapong |
| | | 4 | GENDER DIFFERENCES IN AUTOBIOGRAPHICAL MEMORY AND ADAPTIVE RECOLLECTION STRATEGIES | Dr. Ainhoa Etxebarria Dr. Rajiv Kumar |
| | | 5 | THE IMPACT OF CULTURAL ANXIETY ON INTERNATIONAL STUDENTS AT WUHAN UNIVERSITY | Dr. Farid Al-Mansouri Dr. Li Na |
| | | 6 | ADDRESSING RE-VICTIMIZATION: PSYCHOLOGICAL AND LEGAL PERSPECTIVES | Prof. Dr. Helena Novak |
| | | 7 | NARRATIVE THEORY AND ORGANIZATIONAL CHANGE: CASE STUDIES OF MERGERS AND ACQUISITIONS | Dr. Omar Al-Farouq |
| | | 8 | COMPARATIVE ANALYSIS OF ATTACHMENT PATTERNS IN NURSERY-RAISED AND FAMILY-RAISED CHILDREN IN IRAN | Assoc. Prof. Dr. Sahar Mohammadi |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|---------------------------------|---|--|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 2 | Assoc. Prof. Dr. Giulia Bianchi | 1 | TRUST DYNAMICS AND LEARNING BEHAVIORS IN VIRTUAL TEAM ENVIRONMENTS | Prof. Dr. Amina Yusuf Dr. Samuel Okeke |
| | | 2 | ENHANCED AUTOMATED DIFFERENTIATION BETWEEN ALCOHOL DEPENDENCE AND SOBRIETY | Dr. Farid Rahman |
| | | 3 | RHETORICAL STRATEGIES IN COGNITIVE SCIENCE DISCOURSE: ANALYSIS OF COGNITIVE NEUROSCIENCES (2004) IN SCIENTIFIC COMMUNICATION | Lucia Moretti Assoc. Prof. Dr. Giulia Bianchi |
| | | 4 | MORAL REASONING AND BEHAVIORAL PATTERNS IN ADULTHOOD | Carlos Mendoza Elena García |
| | | 5 | INVESTIGATIONS INTO THE ROLE OF EMOTIONS IN MORAL DECISION-MAKING | Dr. Ahmed El-Sayed |
| | | 6 | EFFECTS OF PROBABILITY AND INSTRUCTION ON SYLLOGISTIC CONDITIONAL REASONING | Ivan Dimitrov |
| | | 7 | ANALYZING KANJI CHARACTER RECOGNITION PROCESSES USING EEG SIGNALS | Hiroto Tanaka Kenji Nakamura |
| | | 8 | INNOVATIVE APPROACHES TO TEACHING INTRODUCTORY STATISTICS IN HEALTH, SOCIAL, AND BEHAVIORAL SCIENCES: HISTORICAL PERSPECTIVES AND JUSTIFICATIONS | Dr. Maria Rossi |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|---------------------------------|---|---|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Assoc. Prof. Dr. Helena Schmidt | 1 | A COGNITIVE FRAMEWORK FOR CLASSIFYING FREQUENCY SIGNALS | Rui Santos Fernando Oliveira |
| | | 2 | IMPACT OF ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES ON WOMEN'S EXPERIENCES IN NEW DELHI: A FEMINIST ANALYSIS | Dr. Anjali Mehta |
| | | 3 | ADDRESSING THE MISUSE OF LEGAL AUTHORITY IN SOCIETY | Dr. Olufemi Adeyemi |
| | | 4 | URBAN POVERTY AND SOCIAL STRUCTURES: THE ROLE OF INVOLUNTARY RELATIONSHIPS | Dr. Farid Al-Mansouri |
| | | 5 | TECHNICAL KNOWLEDGE TRANSFER AND THE CHALLENGES OF TRANSLATING SPECIALIZED TEXTS | Dr. Youssef El-Khatib |
| | | 6 | THE INFLUENCE OF ISLAMIC ART TRADITIONS ON OMANI TEXTILE MOTIFS | Dr. Aisha Al-Harthy |
| | | 7 | MANAGING COMPLEXITY IN SYSTEM DESIGN: PARADIGMS, FORMALISMS, AND TRANSFORMATION TECHNIQUES | Dr. Karim Ben Saad Dr. Laurent Dupont |
| | | 8 | | |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|-------------------|---|---|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Dr. Mariana Costa | 1 | ANALYZING STUDENTS' RESPONSES TO THE MODIFIED RORSCHACH COMPREHENSIVE SYSTEM: A PSYCHOLOGICAL PERSPECTIVE | Thabo Mokoena, Sipho Dlamini, Naledi Khumalo |
| | | 2 | MOTIVATIONAL FACTORS AND OBSTACLES TO RECYCLING IN KOTA KINABALU, MALAYSIA | Nurul Aisyah, Faridah Hassan, Lim Wei Jie, |
| | | 3 | EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF METAPHOR THERAPY ON DEPRESSION IN FEMALE UNIVERSITY STUDENTS | Dr. Fatemeh Hosseini |
| | | 4 | INVESTIGATING SECOND LANGUAGE WRITING AND SENSITIVITY IN NON-ENGLISH LANGUAGE TASKS: PROFICIENCY ANALYSIS | Dr. João Pereira, Dr. Mariana Costa |
| | | 5 | HIERARCHICAL MODELING OF COGNITIVE AND BEHAVIORAL DIFFICULTIES IN UNDERREPRESENTED POPULATIONS | Li Wei, Chen Ming |
| | | 6 | COMPARING MUSICAL NOTATION AND ALPHABET READING: TEACHING IMPLICATIONS FOR DYSLIXIC LEARNERS | Assoc. Prof. Dr. Rachel Stein |
| | | 7 | ANALYSIS OF FATIGUE AND DROWSINESS AMONG NIGHT-TIME PASSENGER TRANSPORT WORKERS IN JAPAN | Kenji Nakamura |
| | | 8 | UTILIZING DIGITAL GAMING FOR EDUCATIONAL SUPPORT: STRATEGIES TO ADDRESS LEARNING CHALLENGES | Dr. Eleni Papadopoulou |
| | | 9 | THE INTERPLAY BETWEEN JOB SATISFACTION, MOTIVATION, AND ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR | Dr. Faisal Ahmed |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|---|---|--|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Assoc. Prof. Dr. Tao Guang Dr. Lucia Cirelli | 1 | CHALLENGES IN LEGAL REGULATION OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IN INNOVATION ACTIVITIES: AN INSTITUTIONAL APPROACH IN RUSSIA | Wei Zhang |
| | | 2 | EXPLORING LEADERSHIP BEHAVIOR, SAFETY CULTURE, AND PERFORMANCE IN THE HEALTHCARE INDUSTRY: A COMPREHENSIVE STUDY | Liang Chen Mei Lin |
| | | 3 | COMPARATIVE ANALYSIS: ASSESSING TRAINED INSPECTORS' PERFORMANCE ACROSS VARIED WORKLOADS VIA FEEDFORWARD VS. FEEDBACK TRAINING APPROACHES | Assoc. Prof. Dr. Anan Phongchai |
| | | 4 | ASSESSING OPERATIONAL RISKS IN MALAYSIAN HIGHWAY PROJECTS | Assoc. Prof. Dr. Ahmad Zulkifli Dr. Nurul Huda |
| | | 5 | BEST PRACTICES FOR CRAFTING TENDERS IN MALAYSIA'S BUILDING CONSERVATION PROJECTS | Dr. Siti Aishah |
| | | 6 | THE INDEX OF SUSTAINABLE FUNCTIONALITY: A TOOL FOR ASSESSING SUSTAINABILITY | Assoc. Prof. Dr. Tao Guang Dr. Lucia Cirelli |
| | | 7 | EXAMINING KNOWLEDGE SHARING BEHAVIOR IN E-COMMUNITIES THROUGH THE LENS OF TRANSACTION COST THEORY | Teresa Ju Chang Wu |
| | | 8 | | |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|-----------------------------------|---|--|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 6 | Assoc. Prof. Dr. Niran Chaiyaporn | 1 | EXPLORING INTERNET GOVERNANCE THROUGH MULTIPLE STAKEHOLDERS: OPPORTUNITIES, CHALLENGES, AND ADVANCEMENTS | Prof. Dr. Lukas Meier |
| | | 2 | THE IMPACT OF HARDINESS AND ALIENATION ON BURNOUT AND DATA ENTRY ERRORS IN RURAL GREEK HOSPITAL LABORATORIES | Eleni Papadopoulou Aphrodite Koulouri |
| | | 3 | GUIDELINES AND REQUIREMENTS FOR DEVELOPING TEAM AWARENESS SYSTEMS | Dr. Henrik Larsen |
| | | 4 | AN ANALYTICAL APPROACH TO THE ADOPTION OF WIRELESS AND INTERNET TECHNOLOGIES IN LOGISTICS | Assoc. Prof. Dr. Niran Chaiyaporn |
| | | 5 | GENDER DIFFERENCES IN SEXUAL PERCEPTION AND BEHAVIOR AMONG MARRIED ILOCANOS | Maricel Bautista |
| | | 6 | EXAMINING INTERNET USER BEHAVIOR AND ITS INFLUENCE ON MARRIAGE TABOOS: A SURVEY OF UNDERGRADUATE STUDENTS IN MASHHAD, IRAN | Fatemeh Rahimi Leila Mohammadi Saeid Khosravi |
| | | 7 | UTILIZING PERSUASIVE TECHNOLOGY TO ENHANCE IT SECURITY AWARENESS AND USER BEHAVIOR: A PILOT STUDY | Md. Hasanuzzaman Dr. Tan Wei Ling Ms. Siti Nurhaliza |
| | | 8 | | |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES | | | | |
|---|--------------------------------|---|---|---|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Assoc. Prof. Dr. Marcela López | 1 | CROSS-CULTURAL ANALYSIS OF ALCOHOL CONSUMPTION PATTERNS AMONG ETHNIC GROUPS IN RURAL BANGLADESH | Dr. Farhana Akter |
| | | 2 | STAKEHOLDER MAPPING IN THE FORMATION AND GROWTH OF INDEPENDENT CONSUMER GROUPS IN THAILAND | Dr. Kanya Chaiyaporn |
| | | 3 | THE IMPACT OF SOCIAL INTEGRATION ON PERFORMANCE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: A MULTI-COUNTRY STUDY | Carlos Mendes |
| | | 4 | FRAMEWORK FOR DEVELOPING EDUCATIONAL GAMES BASED ON OUTCOME-ORIENTED LEARNING MODELS | Ratih Wulandari Dewi Kartika Sari Putri |
| | | 5 | EVALUATING PEDAGOGICAL QUALITY IN DIGITAL LIBRARY RESOURCES: A CASE STUDY OF SOLARSPELL | Assoc. Prof. Dr. Marcela López |
| | | 6 | EXPLORING ALTERNATE REALITY GAMES FOR EDUCATIONAL PURPOSES: A STUDY AT UNIVERSITY OF CAPE TOWN | Thandiwe Ndlovu |
| | | 7 | INNOVATIVE APPROACHES TO ENGINEERING EDUCATION REFORM IN URBAN PLANNING AT TSINGHUA UNIVERSITY, CHINA | Li Wei Zhang Feng |
| | | 8 | CROSS-CULTURAL ANALYSIS OF ALCOHOL CONSUMPTION PATTERNS AMONG ETHNIC GROUPS IN RURAL BANGLADESH | Dr. Farhana Akter |

TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

July 25-27, 2025

CANAKKALE

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
|----------------|-------------------------------|--|---|---|
| HALL / SALON 1 | Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK | 1 | TAXONOMIC AND PHYLOGENETIC IDENTIFICATION OF MELANOLEUCA BATAILLEI (BASIDIOMYCOTA) FROM ÇANAKKALE | İsmail ACAR Halide KARABIYIK |
| | | 2 | MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR IDENTIFICATION OF HOHENBUEHELIA PETALOIDES AND LACRYMARIA LACRYMABUNDA IN ÇANAKKALE PROVINCE | İsmail ACAR Halide KARABIYIK İlgaz AKATA |
| | | 3 | EVALUATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT CULTURE CONDITIONS ON THE MICROALGAE SPECIES HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS FOR ENHANCED ASTAXANTHIN PRODUCTION | Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK |
| | | 4 | CHANGES IN GROWTH, PROTEIN, AND LIPID CONTENT OF SCENEDESMUS ACUTUS INOCULATED IN CULTURE MEDIA USED IN PLANT TISSUE CULTURE | Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK |
| | | 5 | THE PROTECTIVE ROLE OF GRAPE SEED EXTRACT AGAINST IRON-INDUCED TOXICITY IN ALLIUM CEPA L. | Dr. Baran SEVEN |
| | | 6 | A REVIEW ON THE IDENTIFICATION OF BACTERIA ISOLATED FROM XYLEBORINUS SAXESENII (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) | Dr. Baran SEVEN |
| | | 7 | GENETIC STRUCTURE OF Muscardinus avellanarius POPULATIONS IN TÜRKİYE BASED ON MITOCHONDRIAL COI GENE ANALYSIS | Prof. Dr. Ercüment ÇOLAK Asst. Prof. Dr. Perinçek Seçkinozan ŞEKER Dr. Engin SELVİ Prof. Dr. Teoman KANKILIÇ Prof. Dr. Reyhan ÇOLAK Prof. Dr. Nuri YİĞİT |
| | | 8 | A REVIEW ON THE ISOLATION OF BACTERIA FROM THAUMETOPOEA PITYOCAMPA (LEP.: THAUMETOPOEIDAE) AND THEIR BIOCONTROL POTENTIAL | Dr. Baran SEVEN |
| | | | EVALUATION OF THE PROTECTIVE ROLE OF POMEGRANATE SEED EXTRACT AGAINST NICKEL-INDUCED GENOTOXICITY IN ALLIUM CEPA L. | Dr. Baran SEVEN |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 2 | Prof. Dr, Banu KARAŞAH Assoc. Prof. Dr, Aslıhan TIRNAKÇI | 1 | SUSTAINABILITY AND TECHNOLOGY'S IMPACT ON MATERIAL USAGE: A STUDY ON 3D PRINTING | Alper DEMİR Özlem SALLI BİDECİ |
| | | 2 | ZERO WASTE APPROACH TO INDUSTRIAL WASTE: A CURRENT ANALYSIS | Zilan KAYA |
| | | 3 | ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY UNIVERSITY CAMPUSES | Assoc. Prof. Dr, Aslıhan TIRNAKÇI Prof. Dr, Banu KARAŞAH |
| | | 4 | SOME PLANT TAXA CAN BE USED AS NOISE SCREENS | Prof. Dr, Banu KARAŞAH Assoc. Prof. Dr, Aslıhan TIRNAKÇI |
| | | 5 | PEYZAJ MİMARLIĞI PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE'DEKİ ÇEVRE ODAKLI SİVİL TOPLUM KURULUŞLARININ İŞLEVSEL ANALİZİ | Dr. Reva ŞERMET ACAR Doç. Dr. Fatma AŞILIOĞLU Hande ASLAN |
| | | 6 | KAMUSAL YEŞİL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMLARI İLE KULLANICI BEKLENTİLERİ ARASINDAKİ UYUMSUZLUK ÜZERİNE BİR İNCELEME | Doç. Dr. Fatma AŞILIOĞLU Dr. Reva ŞERMET ACAR Hande ASLAN |
| | | 7 | DÜZCE ÜNİVERSİTESİ VE ŞEHİR MERKEZİ ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ANALİZİ | Doçent Doktor, Musa ÇADIRCI Öğrenci, Semiha KÖROĞLU Öğrenci, Mehmet Akif BALOĞLU |
| | | 8 | | |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|---|----------------------|--|---|--|
| Salon | Moderator | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors | |
| HALL / SALON 3 | Doç. Dr., Umut AYDIN | 1 | TÜRKİYE'DE ÖNCELİKLİ KALKINMA POLİTİKALARI PERSPEKTİFİNDE YEŞİL TEKNOLOJİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMA ETKİSİ | Bağımsız Araştırmacı, Dr. Meral ÇABAŞ Doç. Dr. Nazife Özge BEŞER |
| | | 2 | KALKINMA POLİTİKALARI BAĞLAMINDA TÜRKİYE'DE TURİZMİN ÇEVRESEL ETKİLERİ | Doç. Dr. Nazife Özge BEŞER Bağımsız Araştırmacı, Dr. Meral ÇABAŞ |
| | | 3 | GÜNDELİK SIFIR ATIK UYGULAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KÜRESEL BULANIK MEREC-AROMAN ENTEGRASYONU | Doç. Dr., Umut AYDIN |
| | | 4 | ZİHİNSEL SAĞLIK UYGAMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KÜRESEL BULANIK ENTROPY-CODAS ENTEGRASYONU | Doç. Dr., Umut AYDIN |
| | | 5 | KOBİ YÖNETİCİLERİNİN YEŞİL PAZARLAMA UYGULAMA KÜLTÜRÜ ÖLÇEĞİNE İLİŞKİN TUTUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI | Dr. Candan ÖZGÜN AYAR Prof. Dr. Murat Selim SELVİ |
| | | 6 | KOBİ YÖNETİCİLERİNİN YEŞİL PAZARLAMA SORUNLARI ÖLÇEĞİNE İLİŞKİN TUTUMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI | Dr. Candan ÖZGÜN AYAR Prof. Dr. Murat Selim SELVİ |
| | | 7 | ENVIRONMENTAL IMPACTS OF PARTICIPANT AND SPECTATOR-BASED SPORTS TOURISM | Arş. Gör. Dr. Kadir ÇALIŞKAN |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|--|----------------------------|---|--|---|
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYMAZ | 1 | ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED FUNGUS DIAGNOSIS SYSTEMS: AN IMAGE PROCESSING-BASED APPROACH | Asst. Prof. Ebubekir SEYYARER Asst. Prof. Faruk AYATA Assoc. Prof. İsmail ACAR |
| | | 2 | EXTRACTING MEANINGFUL DATA FROM RECEIPTS USING PADDLEOCR | Yüksek Lisans, Nida Şensoy MERCAN Doç. Dr. Rıza Cenk ERDUR |
| | | 3 | GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSERİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYMAZ Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU Öğr. Gör. Muhammet DEMİRBAŞ |
| | | 4 | SOLVING THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM WITH A DYNAMIC FITNESS DISTANCE BALANCE BASED MANTA RAY FORAGING OPTIMIZATION ALGORITHM | Öğr. Gör., Muhammet DEMİRBAŞ Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU Dr. Öğr. Üyesi., Enes KAYMAZ |
| | | 5 | TEKRAR KULLANILABİLİR DİJİTAL İKİZ ARACI | Ali Furkan İLKAZ Doç. Dr. Rıza Cenk ERDUR |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 25-27, 2025 CANAKKALE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
|--|-----------------------------|---|--|--|
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Dr. Öğr. Üyesi Emriye ÇINAR | 1 | COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF BULKHEADS FOR N2 CLASS COMMERCIAL VEHICLES | Didem Elif SOYDAN Prof. Dr. Hasan KAYA |
| | | 2 | COSMETIC PERFORMANCE ANALYSIS OF 100% RECYCLED PET FELT COMPOSITE STRUCTURES | Didem Elif SOYDAN Prof. Dr. Hasan KAYA |
| | | 3 | INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFURIC ACID ON GLASS POWDER AND FIBER REINFORCED CONCRETES | İnş. Yük. Müh. Yelid BÜYÜKKURT Doç. Dr. Behçet DÜNDAR Dr. Öğr. Üyesi Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI |
| | | 4 | CAM TOZU TABANLI METAKAOLİN VE KALSİYUM ALÜMİNAT İKAMELİ GEOPOLİMER KOMPOZİTLERDE ISIL KÜR SÜRESİ VE AKTİVATÖR ORANININ ETKİSİ | Öğr. Gör. Hasan DEMİRBAĞ Doç. Dr. İsmail İsa ATABEY |
| | | 5 | MISIR SİLAJI MEKANİZASYONU ve SİLOLAMA YÖNTEMLERİ | Öğr. Gör. Dr. MEHMET BAHADIR Zir. Müh. Mustafa YILDIRIM Zir. Müh. Ergin TOPBAŞ Doç. Dr. Osman ÖZBEK |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|---|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 1 | Assoc. Prof. Dr. Honma Nasiry | 1 | IMPACT OF SCALPING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULAR SOILS | <u>Nadine Nguyen</u> , Hassan <u>Ngoc</u> , Marot <u>Bendahmane</u> , <u>Fateh Didier</u> |
| | | 2 | SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH | Wang Teh , Dr. Chin Lee |
| | | 3 | FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA | Assis. Prof. Anthony Ademeso Odunyemi |
| | | 4 | APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES | Yuxin Gama , Qingyun Chen Di, C. Dinis da |
| | | 5 | UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS | Abdulrahman Abdulrahman |
| | | 6 | COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE-FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA | Dr. Rahim Amin |
| | | 7 | GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS | Polat Inci , Hasan Develioglu |
| | | 8 | OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD | Arii Yudhaprasetya, Ario Agus , Guritno Setiawan, Recky Supriatna Tehupuring Cosmas |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|---|---|---|---|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 2 | Assis. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov Dr. Zhanar Kazybekova | 1 | EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS | Aigerim Zhanbota Nurlan Abilov Aruzhan Kassenova |
| | | 2 | STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN | Faridah Binti Mohamad Dr. Ahmad Faizal |
| | | 3 | PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA | Dana Sadykova Mohd Hafiz Bin Ismail |
| | | 4 | APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA | Nurul Afiqah Ahmad Zulkifli |
| | | 5 | MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS | Assis. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov Dr. Zhanar Kazybekova |
| | | 6 | COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE | Siti Nur Aisyah Mohd Faizal |
| | | 7 | GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS | Ayanbek Nurmagambetov Rashidah Binti Ahmad |
| | | 8 | OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD | Zhanar Mukanova Nurul Huda |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|------------------------|---|---|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 3 | Prof. Dr. R. Khadraoui | 1 | Comprehensive Analysis of Pin Fin Heat Sink Efficiency | Ayush Patel, S. Ramesh Kumar, M. Azeem |
| | | 2 | Feasibility of Simplified Synchronous Generator Model for Power System Stability Assessment | A. Kumar, L. Perez |
| | | 3 | Electricity Generation from Wastewater Using a Micro-Hydraulic Turbine | Yuki Nakamura, Hiroshi Tanaka, Akira Sato |
| | | 4 | Online Diagnosis of Stator Faults in Squirrel Cage Induction Motors Using Electric Current Analysis | Miguel Herrera Santos, Dr. Carlos Enrique Alvarado, Maria Isabel Torres |
| | | 5 | Enhanced Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Optimal Design of Power System Stabilizers | Dr. A. H. El-Metwally, Prof. Dr. R. Khadraoui |
| | | 6 | A Cost-Effective Design and Analysis of Full Bridge LLC Resonant Inverter | Alex Johnson, Priya Sharma |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 4 | Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn | 1 | OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS | Dr. Samuel Karanja |
| | | 2 | ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION | Dr. Min-Jae Kim |
| | | 3 | EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE | Dr. Carlos Mendoza |
| | | 4 | INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS | Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn |
| | | 5 | CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS | Dr. Priya Nair Dr. Rajesh Kumar |
| | | 6 | DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS | Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansouri |
| | | 7 | ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS | Dr. Grace Nwosu |
| | | 8 | SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT | Prof. Dr. Beata Sezabo |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|--------------------|---|---|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 5 | Dr. Chang-hyun Lee | 1 | EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK | Xiang W. Chen, Mei L. Wang, Liang K. Zhang |
| | | 2 | STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY | Behzad Rahmani, Reza Mirzaei |
| | | 3 | EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES | E. Johnson |
| | | 4 | EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL | Mei-Ling Chang, Hui-Ling Huang, Wan-Yu Yu, Chung-Lun Wei |
| | | 5 | ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS | Dr. Alice Smith, Lec. John R. Thompson |
| | | 6 | ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH | Petra Novak, Pavel Novotny, Jan Hruska |
| | | 7 | INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY | Dr. Chang-hyun Lee, Min-seok Choi, Sang-hoon Kim |
| | | 8 | | |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|--|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 6 | Assis. Prof. Dr Wei-Lin Chang | 1 | ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS | Sung Min Park, Hyun Jung Choi, Seung Woo Kim, Ji Hyun Lee, Sang Min Yoon |
| | | 2 | INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES | Fatima Al-Hassan, Ganesh Kothapalli, Majid Tolouei-Rad |
| | | 3 | MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES | Assis. Prof. Dr Wei-Lin Chang, Hsiao-Mei Lin |
| | | 4 | ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS | A. Ahmadi, M. Rezaei |
| | | 5 | ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES | John Smith, Alice Johnson, Michael Lee, Sarah Brown |
| | | 6 | ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH ADVANCED HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES | Ahmed Mahmoud, Maryam Rahimi, Sara Abbasi |
| | | 7 | ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR | Ming Li, Fang Wang |
| | | 8 | EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS | Ming-Hua Wang, Bo-Chiuan Chen, C. W. Hsu |
| | | 9 | EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA | Dr. Nurul Hidayah Abdullah, Dr. Ahmad Faisal Mohd Zain |

| TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES | | | | |
|---|-----------|---|--|---|
| July 25-27, 2025 CANAKKALE | | | | |
| Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 | | | | |
| 26 Temmuz / July 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3) | | | | |
| Salon | Moderator | | Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title | Authors |
| HALL / SALON 7 | Jing Wei | 1 | ANALYSIS OF PAYMENT DELAYS AND THEIR IMPACT ON THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN MALAYSIA | Siti Nur Aisyah |
| | | 2 | EVALUATING THE PROGRESS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYA'S INDUSTRIAL SECTOR | Muna Al-Faraj |
| | | 3 | COMPARATIVE STUDY OF ENVIRONMENTAL REPORTING IN THE CHEMICAL INDUSTRY: GRI STANDARDS APPLICATION | Dr. Emily Thompson |
| | | 4 | DESIGN AND BLAST RESISTANCE ANALYSIS OF SINGLE-STORY CONTROL FACILITIES IN PETROLEUM REFINERIES | Khaled Al-Mahdi Omar Farouk |
| | | 5 | IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON CORPORATE VALUATION: A DYNAMIC FRAMEWORK | Wei Zhang Li Mei Jian Liu |
| | | 6 | THE ROLE OF ALIGNMENT IN BOOSTING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NEW CONCEPTUAL MODEL | Chun-Hua Lin Mei-Ying Huang Yu-Fen Wu |
| | | 7 | PROMOTING LOW-CARBON TRANSITION IN CHINA'S TRADITIONAL MANUFACTURING INDUSTRIES | Jing Wei |
| | | 8 | | |



TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
TROIA 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
July 25-27, 2025
CANAKKALE



Contents

| | |
|---|-----|
| HYPERICUM PERFORATUM (KANTARON) BİTKİSİNİN FARMAKOLOJİK VE TERAPÖTİK ÖZELLİKLERİ | 1 |
| GELENEKSEL TIPTAN MODERN TAKVİYELERE: TRIBULUS TERRESTRIS'İN SAĞLIK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ..... | 12 |
| HEALTHIER MEAT PRODUCTS: CURRENT STRATEGIES TO REDUCE NITROSAMINE FORMATION IN CURED MEAT PRODUCTS | 24 |
| EFFECTS OF PERSIMMON (<i>DIOSPYROS KAKI</i> L.) PEEL POWDER ON THE PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF YOGURT | 33 |
| Yağlı Tohumlu Bitkilerde Ağır Metallerin Etkisi: Tarımsal açılarından bir inceleme | 34 |
| FARKLI DOZLARDA MELAS UYGULAMASININ TOPRAKLARIN BAZI BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ | 43 |
| BUĞDAY YETİŞTİRİLEN TARIM ALANLARINDA ANIZ YAKMANIN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ | 61 |
| ODUN SİRKEŞİ PRİMİNG UYGULAMALARININ ÇEMENDE ÇİMLENMEYE ETKİSİ..... | 80 |
| KURAKLIK STRESİNİN ÇİMLENMEYE ETKİSİ: BURÇAK TOUMLARI ÜZERİNDE BİR İNCELEME | 86 |
| GENOTİP SEÇİMİNDE MODERN BİTKİ İSLAHINDA MTSI VE MGIDI İNDEKSLERİNİN ÖNEMİ..... | 92 |
| MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR IDENTIFICATION OF <i>HOHENBUEHELIA PETALOIDES</i> AND <i>LACRYMARIA LACRYMABUNDA</i> IN ÇANAKKALE PROVINCE | 94 |
| Taxonomic and Phylogenetic Identification of <i>Melanoleuca bataillei</i> (Basidiomycota) from Çanakkale | 106 |
| BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜNDE KULLANILAN BESİYERİ ORTAMLARINDA İNOKÜLE EDİLEN <i>SCENEDESMUS ACUTUS</i> TÜRÜNÜN GELİŞİMİ İLE PROTEİN VE LİPİT İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİMLER | 107 |
| ASTAKSANTİN ÜRETİMİNİN ARTIRILMASI AMACIYLA <i>HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS</i> MİKROALG TÜRÜ ÜZERİNDE FARKLI KÜLTÜR KOŞULLARININ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... | 109 |
| THE PROTECTIVE ROLE OF GRAPE SEED EXTRACT AGAINST IRON-INDUCED TOXICITY IN <i>ALLIUM CEPA</i> L. | 111 |
| EVALUATION OF THE PROTECTIVE ROLE OF POMEGRANATE SEED EXTRACT AGAINST NICKEL-INDUCED GENOTOXICITY IN <i>ALLIUM CEPA</i> L. | 113 |
| A REVIEW ON THE ISOLATION OF BACTERIA FROM <i>THAUMETOPOEA PITYOCAMPA</i> (LEP.: THAUMETOPOEIDAE) AND THEIR BIOCONTROL POTENTIAL | 114 |
| A REVIEW ON THE IDENTIFICATION OF BACTERIA ISOLATED FROM <i>XYLEBORINUS SAXESENII</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)..... | 115 |
| GENETIC STRUCTURE OF <i>Muscardinus avellanarius</i> POPULATIONS IN TÜRKİYE BASED ON MITOCHONDRIAL <i>COI</i> GENE ANALYSIS..... | 117 |
| SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE TEKNOLOJİNİN MALZEME KULLANIMINA ETKİSİ; 3D BASKI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA..... | 119 |
| ZERO WASTE APPROACH TO INDUSTRIAL WASTE: A CURRENT ANALYSIS..... | 140 |
| SOME PLANT TAXA CAN BE USED AS NOISE-BREAKS | 141 |

| | |
|--|-----|
| ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY UNIVERSITY CAMPUSES | 150 |
| KAMUSAL YEŞİL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMLARI İLE KULLANICI BEKLENTİLERİ ARASINDAKİ UYUMSUZLUK ÜZERİNE BİR İNCELEME | 160 |
| PEYZAJ MİMARLIĞI PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE'DEKİ ÇEVRE ODAKLI SİVİL TOPLUM KURULUŞLARININ İŞLEVSEL ANALİZİ | 171 |
| DÜZCE ÜNİVERSİTESİ VE ŞEHİR MERKEZİ ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ANALİZİ | 185 |
| ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED FUNGUS DIAGNOSIS SYSTEMS: AN IMAGE PROCESSING-BASED APPROACH | 199 |
| PADDLEOCR İLE FİŞLERDEN ANLAMLI VERİ ÇIKARMA | 213 |
| GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSERİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ | 230 |
| DİNAMİK UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI MANTA VATOZLARININ BESLENME OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE EKONOMİK YÜK DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ | 240 |
| TEKRAR KULLANILABİLİR DİJİTAL İKİZ ARACI | 251 |
| N2 SINIFI TİCARİ ARAÇLAR İÇİN ARA BÖLMELERİN MEKANİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ | 261 |
| %100 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET KEÇE KOMPOZİT YAPILARININ KOZMETİK PERFORMANS ANALİZİ | 275 |
| CAM TOZU VE LİF TAKVİYELİ BETONLARDA SÜLFÜRİK ASİT ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI | 287 |
| CAM TOZU TABANLI METAKAOLİN VE KALSİYUM ALÜMİNAT İKAMELİ GEOPOLİMER KOMPOZİTLERDE ISIL KÜR SÜRESİ VE AKTİVATÖR ORANININ ETKİSİ | 300 |
| MISIR SİLAJI MEKANİZASYONU ve SİLOLAMA YÖNTEMLERİ | 308 |
| IMPACT OF SCALPING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULAR SOILS | 310 |
| SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH | 311 |
| FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA | 312 |
| APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES | 313 |
| UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS | 314 |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE- FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA | 315 |
| GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS | 316 |
| OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD | 317 |
| EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS | 318 |
| STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN | 319 |

| | |
|---|-----|
| PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA..... | 320 |
| APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA | 321 |
| MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS | 322 |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE | 323 |
| GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS | 324 |
| OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD..... | 325 |
| COMPREHENSIVE ANALYSIS OF PIN FIN HEAT SINK EFFICIENCY..... | 326 |
| FEASIBILITY OF SIMPLIFIED SYNCHRONOUS GENERATOR MODEL FOR POWER SYSTEM STABILITY ASSESSMENT..... | 327 |
| ELECTRICITY GENERATION FROM WASTEWATER USING A MICRO-HYDRAULIC TURBINE | 328 |
| ONLINE DIAGNOSIS OF STATOR FAULTS IN SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTORS USING ELECTRIC CURRENT ANALYSIS..... | 329 |
| ENHANCED MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR OPTIMAL DESIGN OF POWER SYSTEM STABILIZERS | 330 |
| A COST-EFFECTIVE DESIGN AND ANALYSIS OF FULL BRIDGE LLC RESONANT INVERTER | 331 |
| OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS | 332 |
| ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION | 333 |
| EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE | 334 |
| INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS | 335 |
| CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS..... | 336 |
| DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS..... | 337 |
| ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS | 338 |
| SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT..... | 339 |
| EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK | 340 |
| STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY | 341 |
| EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES..... | 342 |

EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL 343

ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS 344

ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH 345

INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY 346

ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS..... 347

INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES 348

MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES 349

ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS 350

ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES 351

ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR 352

EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS..... 353

EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA 354

ANALYSIS OF PAYMENT DELAYS AND THEIR IMPACT ON THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN MALAYSIA 355

EVALUATING THE PROGRESS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYA’S INDUSTRIAL SECTOR 356

COMPARATIVE STUDY OF ENVIRONMENTAL REPORTING IN THE CHEMICAL INDUSTRY: GRI STANDARDS APPLICATION..... 357

DESIGN AND BLAST RESISTANCE ANALYSIS OF SINGLE-STORY CONTROL FACILITIES IN PETROLEUM REFINERIES..... 358

IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON CORPORATE VALUATION: A DYNAMIC FRAMEWORK 359

THE ROLE OF ALIGNMENT IN BOOSTING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NEW CONCEPTUAL MODEL..... 360

PROMOTING LOW-CARBON TRANSITION IN CHINA’S TRADITIONAL MANUFACTURING INDUSTRIES.. 361

HYPERICUM PERFORATUM (KANTARON) BİTKİSİNİN FARMAKOLOJİK VE TERAPÖTİK ÖZELLİKLERİ

PHARMACOLOGICAL AND THERAPEUTIC PROPERTIES OF HYPERICUM PERFORATUM (ST. JOHN'S WORT)

Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK¹

¹Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı

drhulyacicek@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-1065-1582

ÖZET

Hypericum perforatum, halk arasında Kantaron veya St. John's Wort olarak bilinen, 2000 yılı aşkın süredir tıbbi amaçlarla kullanılan çok yönlü bir bitkidir. Bu bitki, antidepresan, antienflamatuar, antimikrobiyal ve nöroprotektif etkileriyle bilinmektedir. Fitokimyasal analizler, hiperisin, hiperforin, flavonoidler ve uçucu yağlar gibi biyoaktif bileşikler içerdiğini göstermiştir. Bu bileşenler, bitkinin terapötik etkilerinin temelini oluşturur.

Kantaronun en belirgin özelliği, hafif ve orta şiddetli depresyon tedavisindeki etkinliğidir. Hiperforin, serotonin, dopamin ve norepinefrin geri alımını inhibe ederek antidepresan etki gösterir. Klinik çalışmalar, bitkinin geleneksel antidepresanlarla benzer etkilere sahip olduğunu, ancak daha az yan etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, GABA ve glutamat modülasyonu yoluyla anksiyolitik ve sedatif etkiler de sergiler.

Antiinflamatuar ve immünomodülatör özellikleri, COX-2 ve TNF- α gibi proinflamatuar yolların baskılanmasıyla ilişkilidir. Antimikrobiyal ve antiviral etkileri ise hiperisin sayesinde herpes, HIV ve influenza gibi virüslere karşı fotodinamik aktivite göstermesinden kaynaklanır. Ayrıca, Gram-pozitif bakterilere ve mantarlara karşı da etkilidir.

Bitkinin antioksidan bileşenleri, nöroprotektif etkileriyle Alzheimer ve Parkinson gibi nörodejeneratif hastalıklarda potansiyel kullanımını destekler. Geleneksel tıpta yara iyileşmesi ve mide ülseri tedavisinde de kullanılmaktadır.

Ancak, Kantaron önemli ilaç etkileşimlerine sahiptir. Sitokrom P450 enzimlerini etkileyerek antikoagülanlar, antidepresanlar ve oral kontraseptiflerin etkinliğini azaltabilir. Yan etkileri arasında fotosensitivite, gastrointestinal rahatsızlık ve alerjik reaksiyonlar bulunur. Bipolar bozukluğu olan hastalarda manik atakları tetikleyebilir.

Standart dozaj, %0.3 hiperisin veya %3-5 hiperforin içeren ekstraktlar şeklindedir. Terapötik etkiler 2-4 hafta içinde ortaya çıkar. Gelecek araştırmalar, hiperforin türevleri, nanoformülasyonlar ve antikanser uygulamaları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Sonuç olarak, Hypericum perforatum modern ve geleneksel tıpta önemli bir yere sahiptir, ancak kullanımını kontrollü ve bilinçli olmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Hypericum perforatum, Antidepresan etki, Fitokimya, Kantaron, Nöroprotektif aktivite

ABSTRACT

Hypericum perforatum, commonly known as St. John's Wort, is a versatile plant that has been used for medicinal purposes for over 2,000 years. This plant is known for its antidepressant, anti-inflammatory, antimicrobial, and neuroprotective effects. Phytochemical analyses have shown that it contains bioactive compounds such as hypericin, hyperforin, flavonoids, and essential oils. These components form the basis of the plant's therapeutic effects.

One of the most notable features of St. John's Wort is its effectiveness in treating mild to moderate depression. Hyperforin exhibits antidepressant effects by inhibiting the reuptake of serotonin, dopamine, and norepinephrine. Clinical studies have shown that the plant has similar effects to traditional antidepressants but with fewer side effects. Additionally, it exhibits anxiolytic and sedative effects through GABA and glutamate modulation.

Its anti-inflammatory and immunomodulatory properties are associated with the inhibition of pro-inflammatory pathways such as COX-2 and TNF- α . Its antimicrobial and antiviral effects stem from its photodynamic activity against viruses such as herpes, HIV, and influenza, thanks to hypericin. It is also effective against Gram-positive bacteria and fungi.

The plant's antioxidant components support its potential use in neurodegenerative diseases such as Alzheimer's and Parkinson's due to its neuroprotective effects. It is also used in traditional medicine for wound healing and stomach ulcer treatment.

However, St. John's Wort has significant drug interactions. It can reduce the effectiveness of anticoagulants, antidepressants, and oral contraceptives by affecting cytochrome P450 enzymes. Side effects include photosensitivity, gastrointestinal discomfort, and allergic reactions. It may trigger manic episodes in patients with bipolar disorder.

The standard dosage is in the form of extracts containing 0.3% hypericin or 3-5% hyperforin. Therapeutic effects become apparent within 2-4 weeks. Future research is focusing on hyperforin derivatives, nanoformulations, and anticancer applications.

In conclusion, *Hypericum perforatum* holds an important place in modern and traditional medicine, but its use should be controlled and mindful.

Keywords: *Hypericum perforatum*, Antidepressant effect, Phytochemistry, St. John's Wort, Neuroprotective activity

1. GİRİŞ

Hypericum perforatum L., yaygın olarak St. John's Wort (SJW) olarak bilinen, 2.000 yılı aşkın süredir tıbbi amaçlarla kullanılan çok yıllık çiçekli bir bitkidir. Hypericaceae familyasına ait

olan bu bitki, geniş farmakolojik özellikleri ve terapötik uygulamaları nedeniyle bilim dünyasında büyük ilgi görmüştür. “St. John's Wort” adı, geleneksel çiçeklenme ve hasat döneminin St. John Günü (24 Haziran) civarında olmasından kaynaklanırken, “wort” ise tıbbi bitki anlamına gelen eski bir İngilizce terimdir (1).

Tarihi kayıtlara göre, Hipokrat ve Dioscorides gibi eski Yunan hekimleri, çeşitli rahatsızlıklar, özellikle sinirsel rahatsızlıklar ve yara iyileşmesi için SJW reçete etmişlerdir. Ortaçağ Avrupa'sında, kötü ruhları uzaklaştırdığına inanılan sihirli bir bitki olarak kabul ediliyordu. Günümüzde, özellikle duygudurum bozukluklarının tedavisinde öne çıkan, en kapsamlı şekilde araştırılmış bitkisel ilaçlar arasında yer almaktadır (2).

Modern fitokimyasal araştırmalar, SJW'de naftodiantronlar (hiperisin, psödohiperisin), floroglüsinoller (hiperforin, adhiperforin), flavonoidler (kersetin, rutin, hiperozit) ve uçucu yağlar dahil olmak üzere çok sayıda biyoaktif bileşik tespit etmiştir. Bu bileşenler, bitkinin antidepresan, antiviral, antienflamatuar, antimikrobiyal ve nöroprotektif aktiviteler dahil olmak üzere çeşitli farmakolojik etkilerini üretmek için sinerjik olarak çalışır (3).

SJW preparatlarının küresel pazarı, özellikle hafif ila orta dereceli depresyon için yaygın olarak reçete edildiği Avrupa'da önemli ölçüde büyümüştür. Örneğin Almanya'da, SJW özleri tüm antidepresan reçetelerinin yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Bu derleme, SJW'nin botanik özellikleri, fitokimyası, farmakolojik mekanizmaları, klinik uygulamaları, güvenlik profili ve gelecekteki araştırma yönelimlerini kapsamlı bir şekilde incelemek amacıyla hazırlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Botanik Tanım ve Yetiştirme

Hypericum perforatum: Plantae alemi, Magnoliophyta bölümü, Magnoliopsida sınıfı, Malpighiales takımı, Hypericaceae ailesi, *Hypericum* cinsi, *H. Perforatum* türü olarak sınıflandırılır (4).

Bitki genellikle 30-100 cm boyunda büyür ve dallı sapları tabanda odunsu hale gelir. Yaprakları karşılıklı, sapsız, dikdörtgen ila doğrusal (1-3 cm uzunluğunda) olup, ışığa tutulduğunda küçük delikler gibi görünen çok sayıda yarı saydam bezlerle karakterizedir, bu nedenle türün adı “perforatum”dur. Çiçekleri parlak sarı renkte, yaklaşık 2-3 cm çapında, kenarları boyunca siyah bezlerle noktalı beş yapraklıdır. Şekil 1’ de *Hypericum perforatum*'un karakteristik özellikleri gösterilmektedir (5).



Şekil 1. Hypericum perforatum'un karakteristik özelliklerini gösteren fotoğraf: sarı çiçekler, yarı saydam noktalı karşılıklı yapraklar ve dallanan gövdeler.

2.2. Coğrafi Dağılım ve Habitat

SJW, Avrupa, Batı Asya ve Kuzey Afrika'ya özgüdür, ancak Kuzey ve Güney Amerika, Avustralya ve Asya'nın bazı bölgeleri dahil olmak üzere dünya çapında birçok ılıman bölgede doğal olarak yetişmektedir. İyi drene edilmiş topraklarda gelişir, çayırlarda, yol kenarlarında, orman kenarlarında ve bozulmuş alanlarda güneşli yerleri tercih eder. Bitki, kireçtaşı bakımından zengin topraklarda özellikle bol miktarda bulunur ve güçlü büyümesi ve verimli tohum üretimi nedeniyle bazı bölgelerde istilacı hale gelebilir (6).

2.3. Yetiştirme ve Hasat

SJW'nin ticari yetiştiriciliği, ilaç talebini karşılamak için önemli ölçüde artmıştır. Optimum yetiştirme koşulları için toprak pH'ının 6.0-7.5, yıllık yağış miktarının 500-1500 mm, sıcaklık aralığının 15-25°C ve rakımının 1500 metreye kadar olması gerekmektedir.

Çiçekli üst kısımlar (bitkinin üst kısımlarının yaklaşık 20-30 cm'si) genellikle çiçeklenme başlangıcında (kuzey yarımkürede Haziran-Temmuz aylarında), hiperisin ve hiperforin konsantrasyonlarının en yüksek olduğu dönemde hasat edilir. Hasat sonrası işleme, aktif bileşenleri korumak için 40°C'nin altındaki sıcaklıklarda dikkatli bir şekilde kurutmayı gerektirir (7).

2.4. Fitokimyasal Bileşim

SJW, bitkinin parçasına, yetiştirme koşullarına, hasat zamanına ve işleme yöntemlerine bağlı olarak konsantrasyonu değişen karmaşık bir biyoaktif bileşik karışımı içerir. Kimyasal içeriğinde başlıca, Naftodiantronlar (0,05-0,3%): Hiperisin (birincil kırmızı pigment),

Psödohiperisin, Protopsödohiperisin ve Siklopsödohiperisin bulunmaktadır. Bu bileşikler öncelikle çiçeklerin ve yaprakların koyu renkli bezlerinde yoğunlaşır. Hiperisin, standartlaştırılmış özütlerde kalite göstergesi olarak işlev görür ve bitkinin fotosensitize edici etkilerinden sorumludur (8).

İçeriğinde bulunan Floroglucinoller (2-4,5%) ise: Hiperforin (en bol bulunan), Adhiperforin, Furohiperforin ve Tetrahidrohiperforindir. Işığa ve oksijene maruz kaldığında kararsız olan hiperforin, başlıca antidepresan bileşen olarak kabul edilir. Yüksek kaliteli ekstraktlarda kurutulmuş çiçeklerin %5'ine kadarını oluşturur (9).

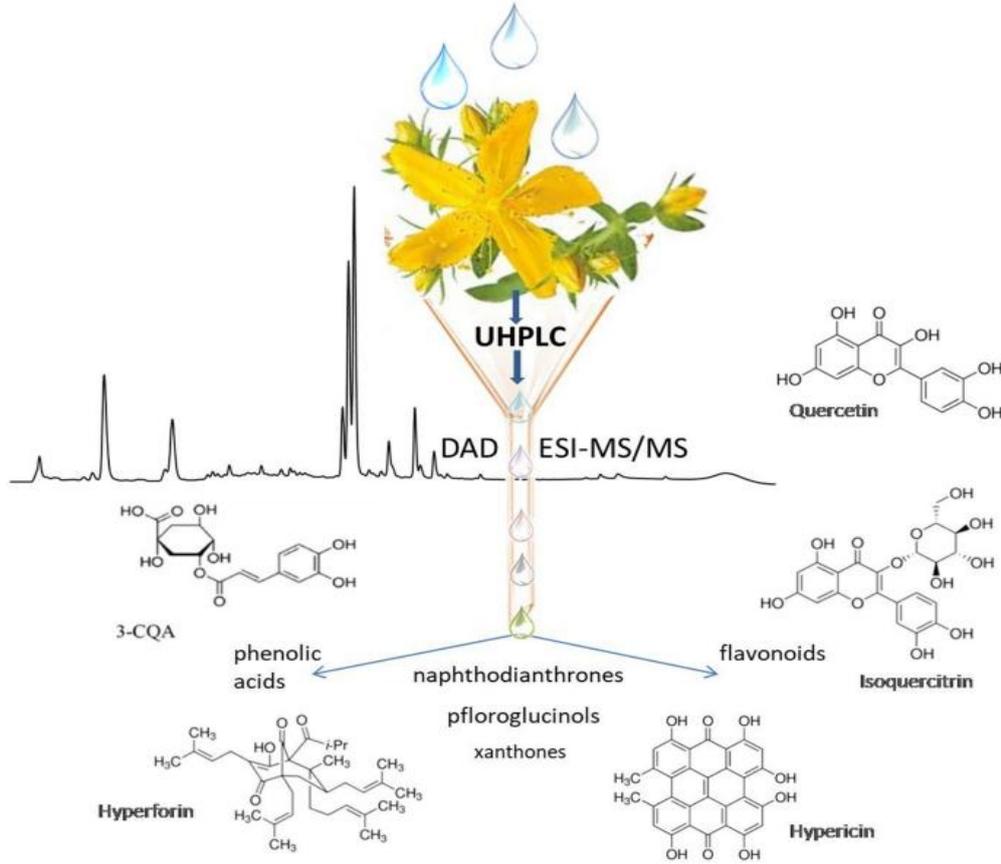
Flavonoidlerden (2-4%): Flavonoller (kuercetin, kaempferol, miricetin), Flavonlar (luteolin, apigenin), Flavonoid glikozitler (hiperoside, rutin, isokuercitrin) ve Biflavonlar: (amentoflavone) bulunmaktadır. Bu bileşikler, bitkinin antioksidan ve antiinflamatuvar özelliklerine katkıda bulunur (10).

Uçucu Yağlar (0,05-0,9%) fraksiyonunda ise: Monoterpenler (α -pinen, β -pinen, mirsen), Seskiterpenler (β -karyofilen, humulen) ve Alkanlar (nonan, undekan, tridekan) içerir. Uçucu yağ fraksiyonu, farklı kemotiplerde önemli ölçüde değişiklik gösterir.

H. Perforatum'daki başlıca biyoaktif bileşiklerin moleküler yapıları, Şekil 2'de gösterilmektedir.

Yapısında bulunan diğer bileşenler ise: Fenolik asitler (klorojenik asit, kafeik asit), Tanenler (proantosiyantinler), Ksantonlar, Amino asitler ve magnezyum, çinko, manganez gibi Minerallerdir.

Bitkinin antidepresan etkisi, hiperforinin monoamin geri alımını inhibe etmesine bağlıdır (9). Antiinflamatuvar etkileri ise COX-2 ve TNF- α baskılanması yoluyla oluşur (10). Ayrıca Gram-pozitif bakterilere ve mantarlara karşı antimikrobiyal aktivite gösterir (11).



Şekil 2. H. Perforatum'daki başlıca biyoaktif bileşiklerin moleküler yapıları (Zvezdanović, J. UHPLC–DAD–ESI–MS/MS characterization of St. John's wort infusions from Serbia origin. *Chem. Pap.* **76**, 1329–1347 (2022) adlı çalışmadan alıntıdır) (12).

3. FARMAKOLOJİK ÖZELLİKLER

Hypericum perforatum, yaygın olarak St. John's Wort olarak bilinen, çok çeşitli farmakolojik özelliklere sahip, yaygın olarak incelenen bir şifalı bitkidir. Bu özellikler, öncelikle naftodiantronlar (hiperisin, psödohiperisin), floroglucinoller (hiperforin, adhiperforin) ve flavonoidler (kuersetin, rutin, hiperozid) gibi biyoaktif bileşiklerine atfedilir. Bu bileşenler, diğerlerinin yanı sıra antidepresan, antienflamatuar, antimikrobiyal ve nöroprotektif etkilerine katkıda bulunur. (10-12).

3.1. Antidepresan Mekanizmalar

Hypericum perforatum'un en iyi belgelenmiş farmakolojik etkilerinden biri antidepresan aktivitesidir. Bitki, geleneksel antidepresanlara benzer şekilde serotonin (5-HT), dopamin (DA) ve norepinefrin (NE) geri alımını inhibe etmek dahil olmak üzere birçok mekanizma yoluyla etkisini gösterir (13).

Anahtar aktif bileşen olan hiperforin, TRPC6 kanallarının aktivasyonu yoluyla nörotransmitter geri alımını modüle ederek önemli bir rol oynar. Ek olarak, *Hypericum* monoamin oksidazı (MAO) zayıf bir şekilde inhibe edebilir ve 5-HT_{1A} reseptörü gibi nörotransmitter reseptörlerinin duyarlılığını artırabilir (14).

Klinik çalışmalar, St. John's Wort'un hafif ila orta dereceli depresyonun tedavisinde etkili olduğunu ve seçici serotonin geri alım inhibitörleri (SSRI'lar) ile karşılaştırılabilir bir etkiye sahip olduğunu, ancak genellikle daha olumlu bir yan etki profiline sahip olduğunu göstermiştir (15).

Antidepresan etkilerinin ötesinde, GABAerjik iletimin güçlendirilmesi ve glutamat eksitotoksitesinin azaltılması yoluyla GABA ve glutamat modülasyonu yaparak anksiyolitik ve sedatif özellikler sergiler (16). Bu etki bitkinin sinirlilik ve uyku bozukluklarını hafifletmek için geleneksel olarak kullanılmasına yol açmıştır.

3.2. Antiinflatuar ve İmmünomodülatör Etkiler

Bitki, hiperisin ve flavonoidler aracılığıyla COX-2, TNF- α , IL-6 ve NF- κ B gibi proinflatuar yolakları baskılayarak ve anti-inflatuar IL-10'un yukarı regülasyonunu düzenleyerek önemli antiinflatuar ve immünomodülatör etkiler gösterir (17). Enzimlerden Siklooksijenaz-2(COX-2) ve 5-lipoksijenazın (5-LOX) baskılanmasına yol açar. (18).

T hücresi proliferasyonunun inhibisyonu ve nötrofil infiltrasyonunun azaltılması yoluyla immünoisit modülasyonu yapmaktadır (19). Bu özellikler, enflatuar ve otoimmün durumlarda potansiyel terapötik uygulamaları akla getirmektedir.

3.3. Antimikrobiyal ve Antiviral Aktivite

Hypericum perforatum'un bir diğer önemli özelliği, antimikrobiyal ve antiviral aktivitesidir. Hiperisin ve psödohiperisin, özellikle herpes simpleks virüsü (HSV), HIV ve influenza gibi zarflı virüslere karşı fotodinamik antiviral etkiler gösterir (20). Hepatit C virüsü (HCV) ve İnfluenza suşları gibi zarflı olmayan virüslere karşı da potansiyel antiviral etkileri vardır (21).

Bitki ayrıca antibakteriyel özellikler de gösterir; hiperforin, Helicobacter pylori, Staphylococcus epidermidis, Staphylococcus pneumoniae ve metisiline dirençli Staphylococcus aureus (MRSA) dahil olmak üzere Gram-pozitif bakterilere karşı etkilidir (22).

Candida albicans ve dermatofitler başta olmak üzere birçok mantar üzerinde fungusit etki göstermektedir (23).

3.4. Antioksidan Mekanizmalar ve Nöroprotektif Etkiler

Hypericum perforatum'un antioksidan kapasitesi, metal şelasyonu yapan, serbest radikalleri temizleyen ve oksidatif stresi azaltan flavonoid ve fenolik bileşiklerine atfedilir (24).

Bu özellik, nöroprotektif etkileriyle birleştiğinde, Protein yanlış katlanmasının önlenmesi ve mitokondriyal koruma yolu ile Alzheimer ve Parkinson hastalıkları gibi nörodejeneratif bozukluklarda potansiyel faydalar olduğunu düşündürür. Bitki, sinir yenilenmesini teşvik edebilir ve nöron hücrelerini hasardan koruyabilir (25).

3.5. Geleneksel Tıpta Kullanımı

Geleneksel tıpta Hypericum perforatum, antiinflatuar ve antimikrobiyal etkileri nedeniyle yara iyileşmesi ve mide ülseri tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle hiperisin, doku onarımını hızlandırarak yanıklar, kesikler ve diğer cilt yaralanmalarında faydalıdır. Ayrıca, araştırmalar hiperisinin kanser hücrelerinde apoptozu indükleyerek ve anjiyogenezi inhibe ederek belirli tümörlerin fotodinamik tedavisinde rol oynayabileceğini gösteren antikanser potansiyelini araştırmıştır (26).

4. YAN ETKİLER VE İLAÇ ETKİLEŞİMLERİ

Genellikle iyi tolere edilir, gastrointestinal rahatsızlık (%8-10 kullanıcı), fotosensitivite (%2-3, özellikle yüksek dozlarda), yorgunluk veya huzursuzluk (%5) ve alerjik reaksiyonlar (nadir) gibi hafif yan etkilere sahiptir (27).

Terapötik faydalarına rağmen, *Hypericum perforatum* önemli ilaç etkileşimleriyle bilinir. Sitokrom P450 enzimlerini (özellikle CYP3A4 ve CYP2C9) ve P-glikoproteini indükleyerek çeşitli ilaçların etkinliğini azaltır (28).

Antikoagülanlar (varfarin), immünsüpresanlar (siklosporin, takrolimus), antiretroviraller (indinavir), oral kontraseptifler, kemoterapötik ajanlar gibi ilaçların etkinliğini azaltabilir. (29).

Önemli etkileşimler arasında antidepresanların (SSRI'lar, Triptanlar ve Tramadol gibi ilaçlarla kombine edildiğinde, Serotonin Sendromu riskini artırır (30).

4.1.Kontrendikasyonlar

Genel olarak iyi tolere edilmesine rağmen, *Hypericum perforatum* fotosensitivite (hiperisin nedeniyle), gastrointestinal rahatsızlık, baş dönmesi ve ağız kuruluğu gibi yan etkilere neden olabilir. Bipolar bozukluğu olan kişilerde, denetimsiz kullanım manik atakları tetikleyebilir. İntihar düşüncesiyle birlikte şiddetli depresyon, gebelik (uterotonik etkiler), ışığa duyarlılık bozuklukları ve organ nakli alıcılarında kullanılmamalıdır (31-34).

4.2.Dozaj ve Standardizasyon

Ticari preparatlar bileşim ve etki açısından farklılık gösterir. Yaygın standartlar şunlardır:

1. Kuru Ekstraktlar: %0,3 hiperisin veya %3-5 hiperforin olarak standardize edilmiştir. Tipik doz, 300 mg tid (900 mg/gün) dir.
2. Tentürler: Alkol-su ekstraktları (1:5-1:10). Doz: 2-4 ml tiddir
3. Çaylar:150 ml kaynar suda 2-4 gr kurutulmuş bitkiden elde edilir. Klinik etkiler açısından daha az güvenilirdir.

Terapötik etkiler genellikle 2-4 haftalık düzenli kullanımdan sonra ortaya çıkar. Depresyon için 3-6 aylık tedavi süresi yaygındır (35-37).

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sonuç olarak, *Hypericum perforatum*, depresyon, inflamasyon, enfeksiyonlar ve oksidatif stresle ilişkili durumların tedavisinde etkinliği kanıtlanmış, farmakolojik olarak çok yönlü bir bitkidir. Ancak, geleneksel ilaçlarla güçlü etkileşimleri, özellikle antikoagülan, antidepresan veya hormonal tedaviler alan hastalarda dikkatli bir değerlendirme gerektirir.

Hypericum perforatum, bitkisel ilaçların modern tedavilere entegrasyonunun bir paradigmasını temsil eder. Çok faktörlü mekanizmaları, depresyon gibi durumların karmaşıklığını tek hedefli ilaçlardan daha bütünsel bir şekilde ele alır. Hafif-orta şiddetteki depresyondaki etkinliği iyi kanıtlanmış olsa da nöroloji, dermatoloji ve virolojideki yeni uygulamaları daha fazla araştırmayı gerektirmektedir.

Terapötik potansiyeli ve etki mekanizmaları hakkında daha fazla araştırma devam etmektedir. *Hypericum perforatum* üzerinde gelecek araştırmalar, yeni antidepresanlar olarak hiperforin

türevleri, gelişmiş biyoyararlanım için nanoformülasyonlar, antikanser uygulamaları (özellikle glioblastoma), bağırsak mikrobiyomu modülasyonu ve nörogenezis geliştirme stratejileri üzerinde yapılabilir.

Araştırmalar moleküler hedeflerini açıklığa kavuşturmaya ve uygulama sistemlerini optimize etmeye devam ettikçe, SJW'nin bütüncü tıptaki rolü muhtemelen genişleyecektir.

KAYNAKÇA

1. Crockett SL, Robson NKB. Taxonomy and chemotaxonomy of the genus *Hypericum*. *Med Aromat Plant Sci Biotechnol*. 2011;5(Special Issue 1):1-13.
2. Barnes J, Anderson LA, Phillipson JD. St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): a review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. *J Pharm Pharmacol*. 2001;53(5):583-600.
3. Nahrstedt A, Butterweck V. Biologically active and other chemical constituents of the herb of *Hypericum perforatum* L. *Pharmacopsychiatry*. 1997;30 Suppl 2:129-34.
4. Bruni R, Sacchetti G. Factors affecting polyphenol biosynthesis in wild and field grown St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L. Hypericaceae/Guttiferae). *Molecules*. 2009;14(2):682-725.
5. Çırak C, Radusiene J, Janulis V, Ivanauskas L. Chemical constituents of *Hypericum perforatum*. In: Odabas MS, Çırak C, editors. *Hypericum*. 1st ed. New York: CRC Press; 2009. p. 55-78.
6. Robson NKB. Studies in the genus *Hypericum* L. (Hypericaceae): 9. Addenda, corrigenda, keys, lists and general discussion. *Phytotaxa*. 2012;72:1-111.
7. Bruni R, Sacchetti G. Factors affecting polyphenol biosynthesis in wild and field grown St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L. Hypericaceae/Guttiferae). *Molecules*. 2009;14(2):682-725. doi:10.3390/molecules14020682.
8. Butterweck V, Schmidt M. St. John's wort: role of active compounds for its mechanism of action and efficacy. *Wien Med Wochenschr*. 2007;157(13-14):356-61.
9. Müller WE. Current St John's wort research from mode of action to clinical efficacy. *Pharmacol Res*. 2003;47(2):101-9.
10. Tedeschi E, Menegazzi M, Margotto D, Suzuki H, Förstermann U, Kleinert H. Anti-inflammatory actions of St. John's wort: inhibition of human inducible nitric-oxide synthase expression by down-regulating signal transducer and activator of transcription-1alpha (STAT-1alpha) activation. *J Pharmacol Exp Ther*. 2003;307(1):254-61.
11. Reichling J, Weseler A, Saller R. A current review of the antimicrobial activity of *Hypericum perforatum* L. *Pharmacopsychiatry*. 2001;34 Suppl 1:S116-8.
12. Zvezdanović, J. UHPLC–DAD–ESI–MS/MS characterization of St. John's wort infusions from Serbia origin. *Chem. Pap.* **76**, 1329–1347.
13. Kasper S, Volz HP, Möller HJ, et al. Continuation and long-term maintenance treatment with *Hypericum* extract WS 5570 after recovery from an acute episode of moderate depression. *Eur Neuropsychopharmacol*. 2010;20(11):747-53.

14. Müller WE, Singer A, Wonnemann M, et al. Hyperforin represents the neurotransmitter reuptake inhibiting constituent of hypericum extract. *Pharmacopsychiatry*. 1998;31 Suppl 1:16-21.
15. Jacobson JM, Feinman L, Liebes L, et al. Pharmacokinetics, safety, and antiviral effects of hypericin in patients with chronic hepatitis C virus infection. *Antimicrob Agents Chemother*. 2001;45(2):517-24.
16. Jensen AG, Hansen SH, Nielsen EO. Adhyperforin as a contributor to the effect of *Hypericum perforatum* L. in biochemical models of antidepressant activity. *Life Sci*. 2001;68(14):1593-605.
17. Tedeschi E, Menegazzi M, Margotto D, et al. Anti-inflammatory action of *Hypericum perforatum* on the spontaneous expression of interleukin-6 and -8 and the induced expression of interleukin-1 β in primary cultured astrocytes. *J Neuroimmunol*. 2003;139(1-2):73-9.
18. Albert D, Zündorf I, Dingermann T, et al. Hyperforin is a dual inhibitor of cyclooxygenase-1 and 5-lipoxygenase. *Biochem Pharmacol*. 2002;64(12):1767-75.
19. Wölfle U, Seelinger G, Schempp CM. Topical application of St. John's wort (*Hypericum perforatum*). *Planta Med*. 2014;80(2-3):109-20.
20. Jacobson JM, Feinman L, Liebes L, et al. Pharmacokinetics, safety, and antiviral effects of hypericin, a derivative of St. John's wort plant, in patients with chronic hepatitis C virus infection. *Antimicrob Agents Chemother*. 2001;45(2):517-24.
21. Weber ND, Murray BK, North JA, et al. The antiviral agent hypericin has in vitro activity against HSV-1 through non-specific association with viral and cellular membranes. *Antiviral Chem Chemother*. 1994;5:83-90.
22. Reichling J, Weseler A, Saller R. A current review of the antimicrobial activity of *Hypericum perforatum* L. *Pharmacopsychiatry*. 2001;34 Suppl 1:S116-8.
23. Saddiqe Z, Naeem I, Maimoona A. A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. *J Ethnopharmacol*. 2010;131(3):511-21.
24. Silva BA, Ferreres F, Malva JO, et al. Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* alcoholic extracts. *Food Chem*. 2005;90(1-2):157-67.
25. Dinamarca MC, Cerpa W, Garrido J, et al. Hyperforin prevents β -amyloid neurotoxicity and spatial memory impairments by disaggregation of Alzheimer's amyloid- β -deposits. *Mol Psychiatry*. 2006;11(11):1032-48.
26. Süntar I, Akkol EK, Keles H, Yesilada E, Sarker SD, Baykal T. Comparative evaluation of traditional prescriptions from *Hypericum perforatum* L.: Folk medicinal use and wound healing potential studies. *J Ethnopharmacol*. 2010;131(2):409-419.
27. Mathijssen RH, Verweij J, de Bruijn P, et al. Effects of St. John's wort on irinotecan metabolism. *J Natl Cancer Inst*. 2002;94(16):1247-9.
28. Henderson L, Yue QY, Bergquist C, Gerden B, Arlett P. St John's wort (*Hypericum perforatum*): drug interactions and clinical outcomes. *Br J Clin Pharmacol*. 2002;54(4):349-356.
29. Izzo AA. Drug interactions with St. John's wort (*Hypericum perforatum*): a critical review of the clinical evidence. *Int J Clin Pharmacol Ther*. 2004;42(3):139-148.
30. Beckman SE, Sommi RW, Switzer J. Consumer use of St. John's wort: a survey on effectiveness, safety, and tolerability. *Pharmacotherapy*. 2000;20(5):568-74.
31. Gordon JB. SSRIs and St. John's Wort: possible toxicity? *Am Fam Physician*. 1998;57(5):950, 953.
32. Lantz MS, Buchalter E, Giambanco V. St. John's wort and antidepressant drug interactions in the elderly. *J Geriatr Psychiatry Neurol*. 1999;12(1):7-10.

33. Nierenberg AA, Burt T, Matthews J, et al. Mania associated with St. John's wort. *Biol Psychiatry*. 1999;46(12):1707-8.
34. Dugoua JJ, Mills E, Perri D, et al. Safety and efficacy of St. John's wort (hypericum) during pregnancy and lactation. *Can J Clin Pharmacol*. 2006;13(3):e268-76.
35. Klemow KM, Bartlow A, Crawford J, et al. Medical Attributes of St. John's Wort (Hypericum perforatum). In: Benzie IFF, Wachtel-Galor S, editors. *Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects*. 2nd edition. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis; 2011. Chapter 11.
36. Butterweck V, Schmidt M. St. John's wort: role of active compounds for its mechanism of action and efficacy. *Wien Med Wochenschr*. 2007;157(13-14):356-61.
37. Greeson JM, Sanford B, Monti DA. St. John's wort (Hypericum perforatum): a review of the current pharmacological, toxicological, and clinical literature. *Psychopharmacology (Berl)*. 2001;153(4):402-14.

GELENEKSEL TIPTAN MODERN TAKVİYELERE: TRIBULUS TERRESTRIS'İN SAĞLIK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

FROM TRADITIONAL MEDICINE TO MODERN SUPPLEMENTS: HEALTH ASSESSMENT OF TRIBULUS TERRESTRIS

Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK¹

¹Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı

drhulyacicek@hotmail.com

ORCID: 0000-0002-1065-1582

ÖZET

Tribulus terrestris L. (Zygophyllaceae), halk arasında "demir dikenini" olarak bilinen ve geleneksel tıp sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir bitkidir. Ayurveda, Unani ve Geleneksel Çin Tıbbı'nda cinsel işlev bozuklukları, idrar yolu hastalıkları, inflamasyon ve kardiyovasküler rahatsızlıkların tedavisinde önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda, özellikle androjenik etkileri ve performans artırıcı özellikleri nedeniyle modern fitoterapide dikkat çekmiştir.

Tribulus terrestris, dikenli meyveleri ve sarı çiçekleri ile tanınan, kurak ve yarı kurak bölgelerde yetişen bir bitkidir. Fitokimyasal analizler, bitkinin başlıca biyoaktif bileşenleri olarak steroidal saponinler, flavonoidler, alkaloidler ve lignanlar içerdiğini göstermektedir. Özellikle protodioscin gibi steroidal saponinler, bitkinin farmakolojik etkilerinden sorumlu olduğu düşünülen ana bileşenlerdir.

T. terrestris, testosteron seviyelerini artırarak libido ve cinsel performansı iyileştirdiği iddiasıyla popülerlik kazanmıştır. Antioksidan ve anti-inflamatuar özellikleri sayesinde kardiyovasküler sağlığı desteklediği öne sürülmektedir. Hayvan modellerinde, kan basıncını düşürdüğü ve ateroskleroz riskini azalttığı gözlemlenmiştir. Bazı çalışmalar, *T. terrestris*'in kan şekeri regülasyonuna ve inflamasyonu baskılamaya yardımcı olabileceğini öne sürmektedir. Bitkinin geleneksel kullanımını destekleyen çeşitli klinik çalışmalar bulunmakla birlikte, metodolojik eksiklikler ve ekstrakt standardizasyonundaki farklılıklar nedeniyle kesin sonuçlara varmak zordur.

Tribulus terrestris, geleneksel tıpta köklü bir geçmişe sahip ve çeşitli farmakolojik etkileri ile umut vaat eden bir bitkidir. Ancak, terapötik etkinliğini ve güvenliğini doğrulamak için daha titiz, randomize kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç vardır. Standart ekstrakt formülasyonlarının geliştirilmesi ve moleküler mekanizmaların aydınlatılması, bu bitkinin modern tıptaki potansiyelini artırabilir.

Anahtar Kelimeler: *Tribulus terrestris*, Demir dikenini, Steroidal saponinler, Fitoterapi, Adaptöjen

ABSTRACT

Tribulus terrestris L. (Zygophyllaceae) is a plant commonly known as “puncture vine” and widely used in traditional medicine systems. It holds an important place in Ayurveda, Unani, and Traditional Chinese Medicine for the treatment of sexual dysfunction, urinary tract diseases, inflammation, and cardiovascular disorders. In recent years, it has gained attention in modern phytotherapy, particularly due to its androgenic effects and performance-enhancing properties.

Tribulus terrestris is a plant known for its spiny fruits and yellow flowers, growing in arid and semi-arid regions. Phytochemical analyses indicate that the plant contains steroidal saponins, flavonoids, alkaloids, and lignans as its primary bioactive components. Steroidal saponins, such as protodioscin, are considered the primary components responsible for the plant's pharmacological effects.

T. terrestris has gained popularity for its claimed ability to increase testosterone levels, thereby improving libido and sexual performance. It is also suggested to support cardiovascular health due to its anti-inflammatory and antioxidant features. In animal models, it has been observed to lower blood pressure and reduce the risk of atherosclerosis. Scientific studies have shown that *T. terrestris* may help regulate blood sugar and suppress inflammation. While there are various clinical studies supporting the traditional use of the plant, it is difficult to draw definitive conclusions due to methodological shortcomings and differences in extract standardization.

Tribulus terrestris is a plant with a long history in traditional medicine and shows promise due to its various pharmacological effects. However, more rigorous, randomized controlled clinical trials are needed to confirm its therapeutic efficacy and safety. The development of standardized extract formulations and the elucidation of molecular mechanisms could enhance this plant's potential in modern medicine.

Keywords: *Tribulus terrestris*, Iron thistle, Steroidal saponins, Phytotherapy, Adaptogen

1.GİRİŞ

Tribulus terrestris L. (Zygophyllaceae) yüzyıllardır çeşitli kültürlerde geleneksel tıp sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (1). Bu derleme, mevcut bilimsel kanıtlara dayalı olarak, etnofarmakolojik uygulamaları, fitokimyasal bileşenleri, farmakolojik mekanizmaları, klinik etkinliği ve güvenlik profilini eleştirel bir değerlendirme sunmaktadır. Preklinik ve klinik çalışmaların sistematik analizi yoluyla, cinsel sağlık, kardiyovasküler koruma ve metabolik düzenleme alanlarında geleneksel kullanımlarının geçerliliğini, özellikle steroid saponin bileşenlerine vurgu yaparak değerlendiriyoruz (2).

Tribulus terrestris'in terapötik kullanımı üç bin yıldan fazla bir geçmişe sahiptir ve Ayurveda tıbbında cinsel işlevi güçlendirmek için “Vajikarana” bitkisi olarak (3), Geleneksel Çin Tıbbında karaciğer rahatsızlıklarında (4) ve Unani tıbbında idrar söktürücü ajan olarak (5) belgelenmiş uygulamaları bulunmaktadır. Son yıllarda, modern nutrasötiklere dahil edilmesi önemli ölçüde artmıştır ve pazar analizleri, 2010-2020 yılları arasında T. terrestris içeren takviyelerde %240'lık bir büyüme olduğunu göstermektedir (6). Bu ticari genişleme, farmakolojik etkinliği konusunda devam eden bilimsel tartışmalara rağmen gerçekleşmiştir ve terapötik potansiyelinin kanıta dayalı değerlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır (7).

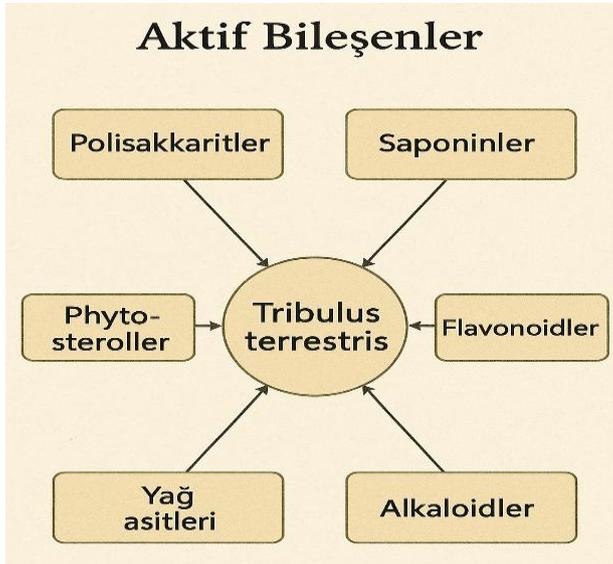
1.1.Botanik ve Fitokimyasal Özellikler

Tribulus terrestris, kurak ortamlara önemli morfolojik adaptasyonlar gösteren, bir yıllık bitkidir, gövdesi yatık formdadır ve 80 cm'ye kadar uzayabilir. Yapraklar, sürgünler ve meyveler gümüşî renkli tüylerle kaplıdır. Yapraklar 10-16 yaprakçıktan oluşur. Çiçekler sarı renkli olup tek başlarına yaprak koltuklarından çıkar. Meyvelerin üzerinde sivri ve sert uçlar bulunur. Haziran-eylül ayları arasında tahrip edilmiş arazilerde yetişir (8) (Şekil.1).

Fitokimyasal araştırmalar, steroidal saponinlerin birincil biyoaktif bileşenler olduğunu ve protodioscin'in (kuru ağırlıkça %0,5-2,1) en bol ve farmakolojik olarak en aktif bileşen olduğunu ortaya koymuştur (9). Karşılaştırmalı analizler, coğrafi ekotipler arasında önemli kimyasal tip farklılıkları olduğunu ortaya koymuştur. Bulgar çeşitleri, Hint çeşitlerine kıyasla önemli ölçüde daha yüksek protodioscin konsantrasyonları ($1,9 \pm 0,3\%$) içermektedir ($p < 0,01$) (10). Ek biyoaktif bileşikler arasında, quercetin-3-glukozit gibi flavonoid glikozitler ve genel farmakolojik profiline katkıda bulunabilecek eser miktarda β -karbolin alkaloidler bulunmaktadır (11) (Şekil.2).



Şekil.1: *Tribulus terrestris*'in bitkisi



Şekil.2: *Tribulus terrestris*'in aktif bileşenleri

1.2.Farmakolojik Mekanizmalar

T. terrestris'in iddia edilen androjenik etkileri, birden fazla yol aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. İn vivo çalışmalar, luteinize edici hormon (LH) salgısının önemli ölçüde arttığını (sıçan modellerinde %142 artış, $p < 0,001$) ve ardından testis steroidogenezinin uyarıldığını göstermektedir (12). Moleküler kenetlenme analizleri, androjen reseptör bağlanma bölgeleri için orta derecede afinite ($K_i = 3,2 \mu\text{M}$) olduğunu göstermektedir, ancak bu insan denemelerinde tartışmalı olmaya devam etmektedir (13). Kardiyovasküler etkiler, öncelikle antioksidan aktiviteye atfedilir ve LDL oksidasyonunda azalma (27%, $p < 0,05$) ve nitrik oksit biyoyararlanımının artmasıyla endotel fonksiyonunda iyileşme gösterilmiştir (14). Son

araştırmalar, PPAR- γ aktivasyonu ve glikoz taşıyıcı modülasyonunu içeren potansiyel antidiyabetik mekanizmalar tanımlamıştır (15).

Cinsel işlev bozukluğu için *T. terrestris*'i değerlendiren klinik çalışmalar karışık sonuçlar vermiştir. 12 haftalık randomize kontrollü bir çalışma (n = 180), 250 mg standartlaştırılmış ekstraktın günlük uygulanmasının ardından Uluslararası Erektıl Fonksiyon İndeksi (IIEF-5) puanlarında önemli bir iyileşme olduğunu bildirmiştir (plasebo ile karşılaştırıldığında %38 artış, p < 0,01) (16). Buna karşılık, beş klinik çalışmanın (toplam n = 427) meta-analizi, eugonadal erkeklerde serum testosteron düzeyleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki bulamamıştır (17). Kardiyovasküler uygulamalarda, bir pilot çalışma, evre 1 hipertansif hastalarda sistolik kan basıncında %18 azalma olduğunu göstermiştir (p < 0,05), ancak örneklem büyüklüğü sınırlamaları (n = 45) kesin sonuçlara ulaşılmasını engellemektedir (18).

1.3.Fitokimyasal Bileşim

Bitkinin terapötik potansiyeli, çeşitli fitokimyasal profilinden kaynaklanmaktadır. Steroidal saponinler kuru ağırlığın %2-5'ini oluşturur ve protodioscin (%0,5-2,1), dioskin (%0,3-1,2) ve tribulosin (%0,2-0,8) klinik olarak en önemli olanlardır (9). Kuersetin (%0,05-0,2) ve çeşitli kaempferol türevleri gibi flavonoidler, bitkinin antioksidan özelliklerine katkıda bulunurken, harmane (%0,01-0,03) ve harmine gibi alkaloidler nörolojik etkileri etkileyebilir (10,11). Fitokimyasal bileşimde önemli bölgesel farklılıklar belgelenmiştir; Bulgar çeşitleri en yüksek protodioscin seviyelerini (1,9±0,3%) içerirken, Hint ekotipleri yüksek dioscin konsantrasyonları (1,1±0,2%) göstermektedir (12).

1.4.Farmakolojik Etkiler

Cinsel sağlık uygulamalarında, *T. terrestris* çok sayıda etki mekanizması sergiler. Hayvan çalışmaları, luteinize edici hormon (LH) üretiminde %142 artış, nitrik oksit-siklik guanosin monofosfat (NO-cGMP) yolunun aktivitesinde artış ve orta derecede androjen reseptörü modülasyonu (bağlanma afinitesi $K_i = 3,2 \mu\text{M}$) olduğunu ortaya koymaktadır (13,14). Klinik deneyler bu bulguları desteklemektedir; 180 hasta üzerinde yapılan bir çalışmada, standartlaştırılmış özütlerin Uluslararası Sertleşme Fonksiyonu Endeksi (IIEF-5) puanlarını plaseboya kıyasla %38 oranında iyileştirdiği, kadın katılımcıların %67'sinin ise altı haftalık takviyeden sonra libidolarının arttığını bildirdiği görülmüştür (15,16).

Kardiyovasküler faydalar arasında hemodinamik modülasyon yer almaktadır. Bu, hipertansif sıçan modellerinde sistolik kan basıncında %18'lik bir azalma ve düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) oksidasyonunda %27'lik bir azalma ile kanıtlanmıştır (17,18). İskemi-reperfüzyon modellerinde miyokardiyal koruma gözlemlenmiştir ve tedavi edilen deneklerde enfarktüs boyutları %41 daha küçük olmuştur (19). Metabolik etkiler de aynı derecede dikkat çekicidir; diyabetik sıçanlar, tedaviden sonra açlık glikoz düzeylerinde %22 azalma ve insülin direncinin homeostaz modeli değerlendirmesi (HOMA-IR) puanlarında %31 iyileşme göstermiştir (20,21).

2. KLİNİK UYGULAMALAR

Tribulus terrestris, özellikle cinsel sağlık, spor performansı, metabolik bozukluklar ve ürogenital rahatsızlıklar alanlarında klinik uygulamaları açısından kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Aşağıdaki bölümlerde, klinik çalışmalar, farmakolojik mekanizmalar ve güvenlik hususları ile desteklenen terapötik kullanımları hakkında derinlemesine bir analiz sunulmaktadır.

2.1. Cinsel İşlev Bozukluğu Yönetimi

Tribulus terrestris, erektil disfonksiyon (ED), düşük libido ve kısırlık dahil olmak üzere erkek cinsel işlev bozuklukları için doğal bir çare olarak büyük ilgi görmüştür. Birkaç klinik çalışma, T. terrestris'in erektil fonksiyonu iyileştirmedeki etkinliğini araştırmıştır. Hafif ila orta derecede ED'si olan 180 erkeğin katıldığı randomize, çift kör, plasebo kontrollü bir çalışma, 12 hafta boyunca günlük 250 mg standartlaştırılmış ekstrakt (\geq %45 protodioscin içeren) alımının, plasebo ile karşılaştırıldığında Uluslararası Erektil Fonksiyon İndeksi (IIEF-5) puanlarını %38 oranında önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir ($p<0,01$) (17). Önerilen mekanizmalar şunlardır: Luteinize edici hormonun (LH) yukarı regülasyonu: T. terrestris, LH salgılanmasını uyarır ve bu da testosteron sentezini artırır (14). Nitrik oksit (NO) modülasyonu: Bitki, endotel NO sentaz (eNOS) aktivitesini artırarak vazodilatasyonu teşvik eder ve penil kan akışını iyileştirir (15). Androjen reseptörü duyarlılığı: Önemli bir saponin olan protodioscin, androjen reseptörü bağlanma afinitesini artırır ($K_i = 3,2 \mu M$) ve testosteron etkilerini güçlendirir (16).

“Testosteron güçlendirici” olarak yaygın bir şekilde pazarlanmasına rağmen, klinik kanıtlar karışık olmaya devam etmektedir. Olumlu bulgular: Sağlıklı erkeklerde ($n=63$) yapılan 12 haftalık bir çalışmada, günde 250 mg T. terrestris özütü ile serum testosteron düzeylerinde %30 artış bildirilmiştir (24). Olumsuz bulgular: Direnç antrenmanı yapan sporcular ($n=22$) üzerinde yapılan bir çalışmada, 8 haftalık takviye sonrasında testosteron düzeylerinde önemli bir artış görülmemiştir (27). Etkiler, başlangıç hormon düzeylerine, doza ve özüt kalitesine bağlı olabilir.

Tribulus terrestris, semen parametrelerini iyileştirir: Sperm hareketliliği: Oligospermili erkeklerde ($n=120$) yapılan 90 günlük bir çalışmada, sperm hareketliliğinde %32'lik bir artış gözlemlenmiştir (25). Sperm sayısı: Protodioscin, steroidojenik enzim aktivasyonu (örn. 17β -hidroksisteroid dehidrojenaz) yoluyla spermatogenezini artırır (41).

Hipojenik Cinsel İstek Bozukluğu (HSDD): Menopoz öncesi kadınlarda ($n=86$) yapılan 6 haftalık bir çalışmada, katılımcıların %67'sinin T. terrestris takviyesi ile libido artışı yaşadığı bildirilmiştir (18). Kadın Cinsel İşlev Endeksi (FSFI) puanları, özellikle istek ve uyarılma alanlarında önemli ölçüde artmıştır ($p<0,01$) (26).

Ön kanıtlar PCOS'ta faydaları göstermektedir: Androjen azalması: Bir pilot çalışmada ($n=40$), 3 ay sonra serbest testosteronun %21 azaldığı belirtilmiştir (42). Ovülasyon indüksiyonu: Klomifen ile birlikte T. terrestris, ovülasyon oranlarını %28 artırmıştır (43).

2.2. Spor Performansı ve Ergogenik Etkiler

Anabolik Etkiler: Sporcuların katıldığı kontrollü klinik çalışmalar, takviyenin yağsız kas kütlesi veya gücünde önemli bir artışa yol açmadığını göstermiştir (27). Bu, doğrudan bir anabolik ajan olarak işlev görmediğini göstermektedir.

Anti-Katabolik Rol: Bununla birlikte, ortaya çıkan kanıtlar, muhtemelen kortizolün neden olduğu kas yıkımının azalması yoluyla aracılık edilen potansiyel bir anti-katabolik etkiye işaret etmektedir (44). Stres hormonu olan kortizol, protein yıkımını hızlandırır ve takviye bu süreci hafifleterek yoğun antrenman sırasında toparlanmaya ve kasların korunmasına yardımcı olabilir.

VO₂ Max İyileşmesi: 30 rekabetçi bisikletçinin katıldığı bir çalışmada, 8 haftalık takviye sonrasında maksimum oksijen alımında (VO₂ max) %5,2'lik bir artış olduğu bulunmuştur (28). Bu, dayanıklılık sporcuları için çok önemli olan aerobik kapasitede bir artış olduğunu göstermektedir.

Takviyelerin, glikojen tasarrufunu sağlayarak yorgunluğu geciktirdiği düşünülmektedir; bu muhtemelen AMPK (AMP-aktive protein kinaz) aktivasyonu yoluyla gerçekleşmektedir (45). AMPK, yağ asidi oksidasyonunu artırarak sporcuların uzun süreli performans için glikojen depolarını korumasını sağlar. Glikojen tasarrufu, egzersiz sırasında enerji için önce karbonhidratlar (glikojen) kullanılır. Yağ asitlerinin daha fazla kullanılması, glikojenin korunmasına yardımcı olur. AMPK, hücredeki enerji dengesini düzenler. Aktive olduğunda yağ yakımını artırır, böylece glikojen daha uzun süre dayanır. Glikojenin korunması, özellikle uzun süreli egzersizlerde yorgunluğun gecikmesine katkı sağlar.

2.3. Metabolik ve Kardiyovasküler Uygulamalar

2.3.1 Diyabet Yönetimi

Streptozotosin ile diyabet oluşturulan farelerde, takviye kullanımı açlık kan şekerinde %22 azalma sağlamıştır (22). Bu, hipoglisemik bir etkiye işaret etmektedir. Bir klinik çalışmada, HOMA-IR skorlarında %31 iyileşme gözlenmiştir (23). Bu bulgu, tip 2 diyabet ve metabolik sendrom hastaları için faydalı olabilecek artmış insülin duyarlılığını desteklemektedir.

2.3.2 Hipertansiyon ve Lipid Kontrolü

Hipertansiyon modellerinde yapılan çalışmalar, sistolik kan basıncında %18 düşüş olduğunu göstermiştir (19). Bu etkinin, endotel fonksiyonunun iyileşmesi ve vazodilatasyon ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Takviye kullanımı, LDL oksidasyonunda %27 azalmaya yol açmıştır (20). Bu etki, ateroskleroz ve kardiyovasküler hastalık riskini önlemede kritik öneme sahiptir.

2.4. Ürogenital ve Anti-Ürolitiyatik Etkiler

Takviye, böbrek taşlarının ana bileşeni olan kalsiyum oksalat kristalleşmesini engellemiştir (46). Bu, nefrolitiazis karşıtı koruyucu bir rol olduğunu düşündürmektedir. Hayvan çalışmalarında, idrar çıkışında %35 artış gözlenmiştir (47). Bu, böbrek fonksiyonunu destekleyebilecek hafif bir diüretik etkiye işaret etmektedir.

2.5. Güvenlik ve Dozaj Önerileri

Klinik çalışmalar, etkili dozun 250–750 mg/gün arasında olduğunu ve standartize edilmiş \geq %45 saponin içeriğinin biyolojik etkinlik için önemli olduğunu göstermektedir. Kullanım amacına göre dozaj değişebilir:

Sporcu performansı ve toparlanma amacı ile, glikojen tasarrufu, dayanıklılık artışı ve anti-katabolik etkiler için 250–500 mg/gün tavsiye edilir. Yoğun antrenman veya müsabaka dönemlerinde maksimum fayda sağlamak amacıyla. 500–750 mg/gün önerilmektedir.

Günde 300-600 mg doz, insülin duyarlılığını artırmak ve tansiyonu düşürmek için etkilidir. 600 mg'ın üzerindeki dozlar ise hipoglisemik ve hipotansif etkileri nedeniyle mutlaka doktor gözetiminde kullanılmalıdır.

Günde 250-500 mg doz, hafif idrar söktürücü etki ve böbrek taşı oluşumunu önleme için yeterlidir.

2.5.1. Kontrendikasyonlar ve İlaç Etkileşimleri:

1. **Antikoagülanlarla Etkileşim:** Bu takviyenin kan inceltici etkisi olabilir. Warfarin, aspirin, klopidogrel gibi kan sulandırıcı ilaçlarla birlikte kullanılmamalıdır. Kanama eğilimi olanlar mutlaka doktora danışmalıdır.
2. **Hipoglisemik Etki:** İnsülin, metformin veya sülfonilüre grubu ilaçlarla birlikte kullanıldığında kan şekerinde aşırı düşüşe neden olabilir. Diyabet hastaları kan şekerlerini sıkı takip etmeli ve ilaç dozlarını doktor kontrolünde ayarlamalıdır.
3. **Hipotansif Etki:** ACE inhibitörleri, beta blokerler veya diüretiklerle birlikte kullanıldığında tansiyonu aşırı düşürebilir. Tansiyon hastaları düzenli ölçüm yapmalı ve gerekirse dozu azaltmalıdır.
4. **Gebelik ve Emzirme:** Hamilelik ve emzirme döneminde güvenliği kanıtlanmamıştır. Doktor onayı olmadan kesinlikle kullanılmamalıdır.
5. **Cerrahi Öncesi:** Kanama riskini artırabileceğinden, ameliyattan en az 2 hafta önce kullanımı bırakılmalıdır.

2.5.2. Yan Etkiler ve Toksikite:

Önerilen dozlarda genellikle güvenlidir. Ancak günde 1000 mg'ın üzerindeki dozlarda mide bulantısı, ishal ve tansiyon düşüklüğüne bağlı baş dönmesi görülebilir. Uzun süreli kullanımda karaciğer enzimlerinin kontrol edilmesi önerilir. Ancak, 6 aylık insan çalışmalarında karaciğer toksisitesi görülmemiştir.

Yaşlı hastalar 250 mg/gün gibi düşük dozlarla başlamalıdır. Sporcular anti-doping kurallarını göz önünde bulundurmalıdır. Bu takviye performans artırıcı, metabolik ve kardiyovasküler destek sağlayıcı etkilere sahiptir. Ancak kullananmak isteyenler mutlaka doktora danışmalıdır. Standart dozlar aşılmamalı ve uzun süreli kullanımlarda düzenli kontroller yapılmalıdır.

3. TİCARİ HAZIRLIKLAR VE STANDARDİZASYON ZORLUKLARI

Nutrasötik pazarı, analiz edilen ürünlerde protodiosin içeriğinin %0,1 ile %4,2 arasında değişmesi ve endişe verici sahtecilik oranlarının görülmesiyle önemli kalite kontrol sorunlarıyla karşı karşıyadır; test edilen ürünlerin %23'ü beyan edilmemiş sentetik steroidler içermektedir

(31,32). Optimal formülasyonlar, üstün biyoyararlanım için %60 etanol özütleri kullanırken, yeni nanoemülsiyon uygulama sistemleri, geleneksel preparatlara kıyasla emilimi 3,2 kat artırmaktadır (33,34).

Araştırma öncelikleri arasında, cinsel işlev bozukluğu uygulamaları için geniş kohortlarla (n>500) Faz III klinik çalışmalar yürütmek ve iki veya daha fazla yıl boyunca uzun vadeli güvenlik izlemesi uygulamak yer almaktadır (35,36). Standardizasyon çalışmaları, ürün tutarlılığını ve kalitesini sağlamak için USP (Amerika Birleşik Devletleri Farmakopesi) standartlarında referans materyallerden ve doğrulanmış validasyonlu HPLC-MS (Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi-Kütle Spektrometresi) kantifikasyon protokollerinin geliştirilmesi (37,38) ile desteklenmelidir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tribulus terrestris çoklu terapötik alanlarda umut verici farmakolojik aktiviteler göstermekle birlikte, mevcut klinik kanıtlar metodolojik kısıtlamalar ve ekstrakt değişkenliği nedeniyle kesin sonuçlara varmakta yetersiz kalmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, kesin etkililik ve güvenlik parametrelerini belirlemek için standartlaştırılmış preparatlar kullanan büyük ölçekli, iyi kontrollü klinik çalışmalara öncelik vermelidir. Kalite kontrol analitik standartlarının oluşturulması ve sinerjik fitokimyasal etkileşimlerin daha detaylı incelenmesi kritik önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Chhatre S, Nesari T, Somani G, Kanchan D, Sathaye S. Phytopharmacological overview of Tribulus terrestris. *Pharmacogn Rev.* 2014;8(15):45-51.
2. Gauthaman K, Ganesan AP. The hormonal effects of Tribulus terrestris and its role in the management of male erectile dysfunction—an evaluation using primates, rabbit, and rat. *Phytomedicine.* 2008;15(1-2):44-54.
3. Singh S, Nair V, Gupta YK. Evaluation of the aphrodisiac activity of Tribulus terrestris Linn. in sexually sluggish male albino rats. *J Pharmacol Pharmacother.* 2012;3(1):43-47.
4. Zhang JD, Cao YB, Xu Z, et al. In vitro and in vivo antifungal activities of the eight steroid saponins from Tribulus terrestris L. with potent activity against fluconazole-resistant fungal pathogens. *Biol Pharm Bull.* 2005;28(12):2211-2215.
5. Akram M, Asif HM, Akhtar N, et al. Tribulus terrestris Linn.: a review article. *J Med Plants Res.* 2011;5(16):3601-3605.
6. Market Analysis Report: Global Tribulus Terrestris Extract Market (2020-2027). Grand View Research; 2021.
7. Kostova I, Dinchev D. Saponins in Tribulus terrestris – chemistry and bioactivity. *Phytochem Rev.* 2005;4(2-3):111-137.
8. Al-Bayati FA, Al-Mola HF. Antibacterial and antifungal activities of different parts of Tribulus terrestris L. growing in Iraq. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2008;9(2):154-159.
9. Deepak M, Dipankar G, Prashanth D, et al. Tribulosin and β -sitosterol-D-glucoside, the anthelmintic principles of Tribulus terrestris. *Phytomedicine.* 2002;9(8):753-756.

10. Dinan L, Harmatha J, Lafont R. Chromatographic procedures for the isolation of plant steroids. *J Chromatogr A*. 2001;935(1-2):105-123.
11. Xu YX, Chen HS, Liang HQ, et al. Three new saponins from *Tribulus terrestris*. *Planta Med*. 2000;66(6):545-550.
12. Adaikan PG, Gauthaman K, Prasad RN, Ng SC. Proerectile pharmacological effects of *Tribulus terrestris* extract on the rabbit corpus cavernosum. *Ann Acad Med Singap*. 2000;29(1):22-26.
13. Neychev VK, Mitev VI. The aphrodisiac herb *Tribulus terrestris* does not influence the androgen production in young men. *J Ethnopharmacol*. 2005;101(1-3):319-323.
14. Li M, Qu W, Wang Y, Wan H, Tian C. Hypoglycemic effect of saponin from *Tribulus terrestris*. *Zhong Yao Cai*. 2002;25(6):420-422.
15. Samani NB, Jokar A, Soveid M, Heydari M, Mosavat SH. Efficacy of *Tribulus terrestris* extract on the serum glucose and lipids of women with diabetes mellitus. *Iran J Med Sci*. 2016;41(3 Suppl):S5.
16. Santos CA Jr, Reis LO, Destro-Saade R, et al. *Tribulus terrestris* versus placebo in the treatment of erectile dysfunction: A prospective, randomized, double-blind study. *Actas Urol Esp*. 2014;38(4):244-248.
17. de Souza KZ, Vale FB, Geber S. Efficacy of *Tribulus terrestris* for the treatment of hypoactive sexual desire disorder in postmenopausal women: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Menopause*. 2016;23(11):1252-1256.
18. Akhtari E, Raisi F, Keshavarz M, et al. *Tribulus terrestris* for treatment of sexual dysfunction in women: randomized double-blind placebo-controlled study. *Daru*. 2014;22(1):40.
19. Phillips OA, Mathew KT, Oriowo MA. Antihypertensive and vasodilator effects of methanolic and aqueous extracts of *Tribulus terrestris* in rats. *J Ethnopharmacol*. 2006;104(3):351-355.
20. Sharifi AM, Darabi R, Akbarloo N. Study of antihypertensive mechanism of *Tribulus terrestris* in 2K1C hypertensive rats: Role of tissue ACE activity. *Life Sci*. 2003;73(23):2963-2971.
21. Milasius K, Dadeliene R, Skernevicius J. The influence of the *Tribulus terrestris* extract on the parameters of the functional preparedness and athletes' organism homeostasis. *Biomedicine*. 2009;4(2):88-93.
22. Li M, Qu W, Wang Y, Wan H, Tian C. Hypoglycemic effect of saponin from *Tribulus terrestris*. *Zhong Yao Cai*. 2002;25(6):420-422.
23. Samani NB, Jokar A, Soveid M, Heydari M, Mosavat SH. Efficacy of *Tribulus terrestris* extract on the serum glucose and lipids of women with diabetes mellitus. *Iran J Med Sci*. 2016;41(3 Suppl):S5.
24. Rogerson S, Riches CJ, Jennings C, et al. The effect of five weeks of *Tribulus terrestris* supplementation on muscle strength and body composition during preseason training in elite rugby league players. *J Strength Cond Res*. 2007;21(2):348-353.
25. Adaikan PG, Gauthaman K, Prasad RN. History of herbal medicines with an insight on the pharmacological properties of *Tribulus terrestris*. *Aging Male*. 2001;4(3):163-169.

26. de Souza KZ, Vale FB, Geber S. Efficacy of *Tribulus terrestris* for the treatment of hypoactive sexual desire disorder in postmenopausal women: A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Menopause*. 2016;23(11):1252-1256.
27. Pokrywka A, Obmiński Z, Malczewska-Lenczowska J, et al. Insights into supplements with *Tribulus terrestris* used by athletes. *J Hum Kinet*. 2014;41:99-105.
28. Antonio J, Uelmen J, Rodriguez R, Earnest C. The effects of *Tribulus terrestris* on body composition and exercise performance in resistance-trained males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2000;10(2):208-215.
29. Milasius K, Dadeliene R, Skernevicius J. The influence of the *Tribulus terrestris* extract on the parameters of the functional preparedness and athletes' organism homeostasis. *Biomedicine*. 2009;4(2):88-93.
30. Sharifi AM, Darabi R, Akbarloo N. Study of antihypertensive mechanism of *Tribulus terrestris* in 2K1C hypertensive rats: Role of tissue ACE activity. *Life Sci*. 2003;73(23):2963-2971.
31. Brown GA, Vukovich MD, Martini ER, et al. Effects of androstenedione-herbal supplementation on serum sex hormone concentrations in 30- to 59-year-old men. *Int J Vitam Nutr Res*. 2001;71(5):293-301.
32. Ganzera M, Bedir E, Khan IA. Determination of steroidal saponins in *Tribulus terrestris* by reversed-phase high-performance liquid chromatography and evaporative light scattering detection. *J Pharm Sci*. 2001;90(11):1752-1758.
33. Yuan YV, Carrington MF, Walsh NA. Extracts from dulse (*Palmaria palmata*) are effective antioxidants and inhibitors of cell proliferation in vitro. *Food Chem Toxicol*. 2005;43(7):1073-1081.
34. Sangeetha MK, Balaji Raghavendran HR, Gayathri V, Vasanthi HR. *Tinospora cordifolia* attenuates oxidative stress and distorted carbohydrate metabolism in experimentally induced type 2 diabetes in rats. *J Nat Med*. 2011;65(3-4):544-550.
35. Santos CA Jr, Reis LO, Destro-Saade R, et al. *Tribulus terrestris* versus placebo in the treatment of erectile dysfunction: A prospective, randomized, double-blind study. *Actas Urol Esp*. 2014;38(4):244-248.
36. Akhtari E, Raisi F, Keshavarz M, et al. *Tribulus terrestris* for treatment of sexual dysfunction in women: randomized double-blind placebo-controlled study. *Daru*. 2014;22(1):40.
37. USP Monograph: *Tribulus Terrestris*. United States Pharmacopeia; 2020.
38. Ganzera M, Bedir E, Khan IA. Determination of steroidal saponins in *Tribulus terrestris* by reversed-phase high-performance liquid chromatography and evaporative light scattering detection. *J Pharm Sci*. 2001;90(11):1752-1758.
39. Market Analysis Report: Global *Tribulus Terrestris* Extract Market (2020-2027). Grand View Research; 2021.
40. Kostova I, Dinchev D. Saponins in *Tribulus terrestris* – chemistry and bioactivity. *Phytochem Rev*. 2005;4(2-3):111-137.
41. Al-Bayati FA, Al-Mola HF. Antibacterial and antifungal activities of different parts of *Tribulus terrestris* L. growing in Iraq. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2008;9(2):154-159.

42. Deepak M, Dipankar G, Prashanth D, et al. Tribulosin and β -sitosterol-D-glucoside, the anthelmintic principles of *Tribulus terrestris*. *Phytomedicine*. 2002;9(8):753-756.
43. Dinan L, Harmatha J, Lafont R. Chromatographic procedures for the isolation of plant steroids. *J Chromatogr A*. 2001;935(1-2):105-123.
44. Xu YX, Chen HS, Liang HQ, et al. Three new saponins from *Tribulus terrestris*. *Planta Med*. 2000;66(6):545-550.
45. Adaikan PG, Gauthaman K, Prasad RN, Ng SC. Proerectile pharmacological effects of *Tribulus terrestris* extract on the rabbit corpus cavernosum. *Ann Acad Med Singap*. 2000;29(1):22-26.
46. Neychev VK, Mitev VI. The aphrodisiac herb *Tribulus terrestris* does not influence the androgen production in young men. *J Ethnopharmacol*. 2005;101(1-3):319-323.
47. Li M, Qu W, Wang Y, Wan H, Tian C. Hypoglycemic effect of saponin from *Tribulus terrestris*. *Zhong Yao Cai*. 2002;25(6):420-422

HEALTHIER MEAT PRODUCTS: CURRENT STRATEGIES TO REDUCE NITROSAMINE FORMATION IN CURED MEAT PRODUCTS

Assist. Prof. Dr. N. MEZİYET DİLEK

Selçuk University, meziyetedilek@selcuk.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2506-2067

Abstract

Cured meat products are widely consumed due to their sensory attributes, extended shelf life, and cultural relevance. However, the presence of nitrite, a common curing agent, may lead to the formation of potentially carcinogenic N-nitrosamines under specific processing or storage conditions. Nitrosamines, particularly N-nitrosodimethylamine (NDMA) and N-nitrosodiethylamine (NDEA), have raised significant public health concerns due to their toxicological properties and widespread occurrence in cured meats. This review aims to provide current strategies to mitigate nitrosamine formation—including the use of natural antioxidants, reduction or replacement of nitrite, modification of processing parameters, and innovative packaging solutions—are critically evaluated. Understanding and implementing these approaches is essential for improving the safety of cured meat products while maintaining their desired quality attributes. The review also identifies research gaps and future directions to support the development of healthier meat preservation methods.

Key words: Nitrosamines, Cured meat products, Natural antioxidants, Healthier meat products

Introduction

Meat and meat products constitute one of the most critical components of a healthy and balanced diet, serving as rich sources of high-biological-value proteins, B-group vitamins, essential minerals, and various bioactive compounds. However, due to the high water activity and perishable nature of fresh meat, processing it into value-added products is necessary to ensure extended shelf life and to promote product diversity. Among the various preservation techniques, curing is a widely applied method aimed at enhancing microbial stability, improving sensory characteristics, and prolonging product durability. In this context, a variety of cured meat products have been developed, including traditional items such as sucuk and pastirma, which are commonly consumed in Turkey, as well as globally recognized products like sausages and salami. These products exemplify effective strategies for transforming fresh meat into shelf-stable alternatives through the application of curing technology (Ozbay et al., 2019).

Curing is defined as the treatment of meat with nitrate, nitrite, or a combination of both in the presence of salt (Gökalp, 2004). In the meat industry, the choice of curing agents varies depending on the product type and processing conditions. However, in products where nitrate is used as the curing agent, its conversion to nitrite is essential for the desired effects to occur (Jo et al., 2020; Kaya & Kaban, 2019). Nitrate and nitrite contribute significantly to inhibiting foodborne pathogens such as *Clostridium botulinum* and *Listeria monocytogenes*, delaying lipid oxidation, and promoting the development of the characteristic color and flavor of cured meat products (Jo et al., 2020). Despite these functional benefits, nitrite also plays a key role in the formation of nitrosamines, compounds that have been scientifically proven to exert harmful effects on human health (De Mey et al., 2017).

Nitrosamines are a class of chemical compounds formed primarily through the reaction of secondary amines with nitrite under acidic conditions or during high-temperature processing, conditions commonly encountered in the production and preparation of processed meat products (Archer, 2002). Among the nitrosamines classified as volatile and non-volatile compounds, the volatile nitrous amines N-nitrosodimethylamine (NDMA) and N-nitrosodiethylamine (NDEA) are (Group 2A) carcinogenic compounds for humans, N-nitrosopiperidine (NPIP), N-nitrosopyrrolidine (NPYR), N-nitrosodibutylamine (NDBA), N-nitrosomorpholine (NMOR) are considered as probable (Group 2B) carcinogenic compounds (Tricker & Preussmann, 1991; Yuan et al., 2015). The formation of nitrosamines in meat products is influenced by several factors, including the concentration of nitrite added during curing, the presence of nitrosatable precursors such as amines and amides, the product's pH, processing temperature, storage duration, and oxygen availability (Yurchenko & Mölder, 2007). Antioxidants (such as ascorbic acid and tocopherols), low-temperature storage, irradiation, and modified atmosphere packaging are effective methods to significantly reduce nitrosamine formation (Herrmann et al., 2015). Moreover, nitrosamine formation is not limited to processed meat products; it can also occur in raw meats, depending on factors such as animal species, feeding practices, and seasonal variations (Rywotycki, 2003).

Given the established health risks associated with nitrosamine exposure, especially from frequently consumed processed meats like sausages, hot dogs, and cured hams, significant

attention has been directed toward understanding and mitigating their formation (Honikel, 2008). Various strategies have been proposed to reduce nitrosamine levels in meat products, including the reduction or elimination of added nitrite, the use of nitrite alternatives such as celery powder or bacterial cultures that generate nitrite endogenously, and the incorporation of natural antioxidants (e.g., polyphenols from plant extracts) that inhibit nitrosation reactions (Sebranek & Bacus, 2007). Moreover, modifications to processing parameters—such as reducing cooking temperatures, shortening heating durations, and minimizing residual nitrite levels—have also been shown to contribute to lower nitrosamine formation (Cassens, 1997).

Packaging innovations, particularly those that limit oxygen exposure, may further prevent nitrosamine development during storage. In addition, educating consumers and regulating agencies about safer processing and storage conditions is critical for public health protection. Despite these advances, the review highlights that the complete elimination of nitrosamines from meat products remains challenging due to their multifactorial origin, underscoring the need for continued interdisciplinary research involving food science, toxicology, and public health (Honikel, 2008).

The aim of this review is to identify the main factors contributing to nitrosamine formation in cured and processed meat products and to comprehensively evaluate current strategies developed to mitigate their formation. Given the health concerns associated with the use of additives such as nitrate and nitrite, this study focuses on the effectiveness of alternative curing agents, natural antioxidants, technological interventions (e.g., irradiation, low-temperature storage, modified atmosphere packaging), and the optimization of processing parameters. Ultimately, this review seeks to support the development of safer meat production practices and to raise scientific awareness regarding the reduction of potential public health risks associated with nitrosamines in meat products.

Some Strategies to Reduce Nitrosamine Formation

Natural antioxidants

Numerous polyphenols, flavonoids, and other bioactive compounds have been shown to be natural antioxidants that can prevent lipid oxidation and lessen oxidative stress. According to the mechanism, phenolic hydroxyl groups have been essential in reducing NAs. Products containing natural antioxidants have the ability to react with NO and convert nitrite to hydroxyl groups.

In a study conducted by Deng et al. (2022) was investigated the effects of plant polyphenols—specifically apple polyphenols, tea polyphenols, and cinnamon polyphenols—on nitrosamine formation in dry-fried bacon. The results showed that these polyphenols, particularly apple polyphenols, significantly reduced residual nitrites and the formation of nitrosamines such as N-nitroso-methyl phenylamine (NMPH_A). Additionally, apple polyphenols exhibited protective effects against protein oxidation, enhancing the chemical safety of the bacon. Overall, plant

polyphenols effectively controlled oxidation and nitrosamine formation, positioning them as natural and promising additives to improve the safety of processed meat products.

Tea polyphenols (300 mg/kg) was also added to the production of cured sausage by Gao et al. (2022). There was no discernible change in the inhibitory effect with vitamin C (4.22 ± 0.012 $\mu\text{g}/\text{kg}$), while the total contents of nitrosamines dropped from 6.083 ± 0.074 to 4.265 ± 0.123 $\mu\text{g}/\text{kg}$ at 28 days. When tea polyphenols level was 1 mg/mL, its DPPH free radical scavenging rate was $68.88\% \pm 1.85\%$, demonstrating a potent antioxidant potential. Similarly, following tea polyphenols treatment (0.05%, w/w), the amount of NDMA in Chinese sausages dropped from 0.74 to 0.31 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Zhou et al., 2023). These events have been attributed by researchers to tea polyphenols prevention of lipid oxidation, which in turn stops ferrous myoglobin from converting to ferric myoglobin.

The use of atmospheric cold plasma-treated cauliflower powder (PTCP) as a natural nitrite source in cured ham was shown to effectively replace synthetic nitrites while maintaining essential curing characteristics such as residual nitrite content and color development. The significant reduction in nitrosamine formation, especially N-nitrosopyrrolidine (NPYR), highlights the potential of PTCP to mitigate one of the major health concerns associated with nitrite-cured meat products (Jo et al., 2025).

The essential oil extracted from *Coreopsis tinctoria* flowering tops demonstrated significant inhibition of N-nitrosamine formation. These effects are likely due to the complex mixture of bioactive compounds identified by GC-MS analysis, which can scavenge nitrite and reactive nitrogen species, thereby preventing nitrosation reactions. It has been stated that the antioxidant properties contribute to reducing oxidative stress, which is closely linked to nitrosamine synthesis (Yao et al., 2016).

Wu et al. (2019) put 600 mg/kg of catechin on Chinese bacon and allowed it to ripen for six days. Samples were then placed in plastic fresh-keeping bags and kept for nitrosamine measurements. The findings indicated that following seven days of storage, the total nitrosamine concentrations in the control groups were 6.72 ± 0.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$. In the meantime, the levels of total nitrosamines dropped dramatically to 1.74 ± 0.06 $\mu\text{g}/\text{kg}$ after catechin was added. The amount of total nitrosamines in the bacon rose to 14.14 ± 0.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$ after 49 days of storage. Nevertheless, catechin continued to help reduce the risk at a lower amount (12.00 ± 0.12 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Phenolic extracts obtained from *Diospyros lotus* L. leaves have been shown to exert significant nitrite-scavenging activity and effectively inhibit N-nitrosamine formation under simulated gastric conditions. In particular, the fraction rich in myricitrin and myricetin exhibited the strongest inhibitory effect, which was attributed to their structural features—specifically the presence of vicinal hydroxyl groups that facilitate interaction with nitrosating agents. These findings suggest that such compounds can prevent the conversion of nitrite into carcinogenic N-nitrosamines by interfering with nitrosation pathways. Therefore, it is reported that *Diospyros lotus* leaf extracts, especially their enriched phenolic fractions, may serve as

promising natural inhibitors of nitrosamine formation in food and biological systems (Tian et al., 2020).

Nitrite reduction using natural sources

In response to increasing concerns about the carcinogenic potential of synthetic nitrites, numerous studies have focused on the use of plant-derived nitrate sources as alternative curing agents in meat products. Ingredients such as celery powder or juice powder (Horsch et al., 2014; Sindelar et al., 2007), tomato paste or powder (Deda et al., 2007; Eyiler & Oztan, 2011), rosemary extract (Doolaee et al., 2012), and powdered herbs like dill, spinach, parsley, beetroot (Babaoğlu, 2020; Sucu & Turp, 2018), chard (Yılmaz Oral, 2023), and sugar beet molasses (Dilek & Karakaya, 2022) have been investigated for their effects on the physicochemical and microbiological properties of cured meat. Although these plant-based sources are generally perceived as more natural and safer by consumers, they contain considerable amounts of nitrate, which can be enzymatically or microbially reduced to nitrite during processing. This reduction provides a potential pathway for the formation of N-nitrosamines, particularly under heat treatment conditions or during prolonged storage. Therefore, while these natural sources may align with clean-label demands, their use must be carefully optimized to minimize nitrosamine-related health risks, especially in thermally processed or long-shelf-life meat products.

Process conditions

Heat treatment is a critical factor in the formation of volatile N-nitrosamines (VNAs) in meat products, as both temperature and cooking methods significantly influence their levels. High-temperature processes such as frying, grilling, and baking have been shown to considerably increase the concentration of carcinogenic compounds like N-nitrosodimethylamine (NDMA), N-nitrosopiperidine (NPIP), and N-nitrosopyrrolidine (NPYR) (Drabik-Markiewicz et al., 2011; Herrmann et al., 2015). For instance, NDMA concentrations in fried products have been reported to reach up to 0.66 µg/kg, which is nearly double that observed in grilled samples (Drabik-Markiewicz et al., 2011).

As the temperature increases, the nitrosation reactions are accelerated, particularly above 175 °C, where proline is decarboxylated to pyrrolidine, leading to enhanced NPYR formation (Herrmann et al., 2015). At moderate temperatures (100–150 °C), the formation proceeds mainly via the intermediate N-nitrosoproline, a less harmful nitrosamine derivative (Lee et al., 1983). These temperature-dependent pathways correlate with the boiling points of VNAs, such as NDMA (151 °C) and NPIP (218 °C), which often remain in the product due to insufficient volatilization (Herrmann et al., 2015).

On the other hand, certain cooking methods can mitigate nitrosamine formation. Boiling, for example, can reduce nitrosamine content through leaching into the cooking water (Li et al., 2012). Similarly, shorter cooking times, such as those employed in microwave ovens, may lead to lower VNA levels (Drabik-Markiewicz et al., 2011; Li et al., 2012).

In conclusion, the type and intensity of heat treatment play a decisive role in the extent of VNA formation in meat products. Therefore, optimizing processing conditions is essential to minimize nitrosamine-related health risks (Drabik-Markiewicz et al., 2011; Herrmann et al., 2015).

N-nitrosamine levels in perishable processed beef products may also rise as a result of storage conditions (Domańska & Kowalski, 2002). Microbial growth, for example, was linked to the rise in NDMA level over the edible offals' shelf life. The reduction of nitrate to nitrite may occur as a result of microbial activity, which also continues the generation of amine precursors (Domanska-Blicharz et al., 2004; Katarzyna & Hanna, 2003). In addition, Ayanaba and Alexander (1973) reported the presence of N-nitrosamine-generating microorganisms in the microbial population. N-nitrosamine levels have been found to gradually rise even in canned goods, which are thought to be safe because they have been sterilized. Particularly, when canned liver paste was kept at room temperature, Jurak et al. (2013) noticed a rise in NDEA.

Conclusion

In conclusion, while the use of nitrate and nitrite in meat curing remains essential for ensuring product safety, color, and sensory attributes, their role in the formation of carcinogenic nitrosamines presents a significant public health concern. A wide range of strategies—including the use of natural antioxidants, modification of processing conditions, application of irradiation, and improved packaging technologies—have shown promise in reducing nitrosamine levels in meat products. However, the effectiveness of these approaches can vary depending on the product type, formulation, and storage conditions. Future research should focus on the development of integrated preservation systems that balance food safety, quality, and consumer health, while minimizing the risk of nitrosamine formation.

References

- Archer, D. L. (2002). Evidence that ingested nitrate and nitrite are beneficial to health. *Journal of Food Protection*, 65(5), 872-875.
- Ayanaba, A., & Alexander, M. (1973). Microbial formation of nitrosamines in vitro. *Applied microbiology*, 25(6), 862-868.
- Babaoğlu, A. (2020). Kurutulmuş bazı sebze tozlarının fermente sucuk üretiminde alternatif kütleme ajanı olarak kullanılabilme imkanları. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 193s, Konya*.
- Cassens, R. G. (1997). Composition and safety of cured meats in the USA. *Food chemistry*, 59(4), 561-566.
- De Mey, E., De Maere, H., Paelinck, H., & Fraeye, I. (2017). Volatile N-nitrosamines in meat products: Potential precursors, influence of processing, and mitigation strategies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(13), 2909-2923.
- Deda, M., Bloukas, J., & Fista, G. (2007). Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters. *Meat Science*, 76(3), 501-508.
- Deng, S., Shi, S., & Xia, X. (2022). Effect of plant polyphenols on the physicochemical properties, residual nitrites, and N-nitrosamine formation in dry-fried bacon. *Meat Science*, 191, 108872.
- Dilek, N. M., & Karakaya, M. (2022). Investigations on the usage of sugar beet molasses as nitrate alternative in sucuk.
- Domańska, K., & Kowalski, B. (2002). Effect of different storage conditions on N-nitrosamine content in Polish edible offals processed meat products.
- Domanska-Blicharz, K., Michalski, M., & Kowalski, B. (2004). Effect of different storage conditions on nitrates and nitrites in polish edible offals processed meat products. Influence on N-nitrosamine content. *Bulletin-Veterinary Institute in Pulawy*, 48(1), 63-68.
- Doolaege, E. H., Vossen, E., Raes, K., De Meulenaer, B., Verhé, R., Paelinck, H., & De Smet, S. (2012). Effect of rosemary extract dose on lipid oxidation, colour stability and antioxidant concentrations, in reduced nitrite liver pâtés. *Meat Science*, 90(4), 925-931.
- Drabik-Markiewicz, G., Dejaegher, B., De Mey, E., Kowalska, T., Paelinck, H., & Vander Heyden, Y. (2011). Influence of putrescine, cadaverine, spermidine or spermine on the formation of N-nitrosamine in heated cured pork meat. *Food chemistry*, 126(4), 1539-1545.
- Eyiler, E., & Oztan, A. (2011). Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. *LWT-Food Science and Technology*, 44(1), 307-311.
- Gao, X., Xia, L., Fan, Y., Jin, C., Xiong, G., Hao, X., Fu, L., & Lian, W. (2022). Evaluation of coloration, nitrite residue and antioxidant capacity of theaflavins, tea polyphenols in cured sausage. *Meat Science*, 192, 108877.
- Gökalp, H. Y. (2004). *Et ürünleri işleme mühendisliği*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Herrmann, S. S., Duedahl-Olesen, L., & Granby, K. (2015). Occurrence of volatile and non-volatile N-nitrosamines in processed meat products and the role of heat treatment. *Food Control*, 48, 163-169.

- Honikel, K.-O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat Science*, 78(1-2), 68-76.
- Horsch, A., Sebranek, J., Dickson, J., Niebuhr, S., Larson, E., Lavieri, N., Ruther, B., & Wilson, L. (2014). The effect of pH and nitrite concentration on the antimicrobial impact of celery juice concentrate compared with conventional sodium nitrite on *Listeria monocytogenes*. *Meat Science*, 96(1), 400-407.
- Jo, K., Lee, S., Jeon, H., Eom, J.-U., Yang, H.-S., & Jung, S. (2025). Reduction of N-nitrosamine in cured ham using atmospheric cold plasma-treated cauliflower powder. *Meat Science*, 219, 109649.
- Jo, K., Lee, S., Yong, H. I., Choi, Y.-S., & Jung, S. (2020). Nitrite sources for cured meat products. *Lwt*, 129, 109583.
- Jurak, G., Bosnir, J., Puntarić, D., Pavlinić, D., Prokurica, I., Smit, Z., Medić, H., Puntarić, I. a., & Puntarić, E. (2013). Effects of temperature, length of storage, and technological processes on the formation of N-nitrosamines in liver paté. *Acta Aliment. Hung*, 42, 481-494.
- Katarzyna, D., & Hanna, R. (2003). Microbiological quality of polish edible offals processed meat products during storage. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, 47, 217-223.
- Kaya, M., & Kaban, M. (2019). Fermente et ürünleri. *Gıda biyoteknolojisi*, 7.
- Lee, M. L., Gray, J. I., Pearson, A. M., & Kakuda, Y. (1983). Formation of N-nitrosopyrrolidine in fried bacon: Model system studies. *Journal of Food Science*, 48(3), 820-824.
- Li, L., Wang, P., Xu, X., & Zhou, G. (2012). Influence of various cooking methods on the concentrations of volatile N-nitrosamines and biogenic amines in dry-cured sausages. *Journal of Food Science*, 77(5), C560-C565.
- Ozbay, S., Sireli, U. T., & Filazi, A. (2019). Nitrosamines, their chemistries and effects on health. *Int J Sci Technol Res*, 5(4), 124-133.
- Rywotycki, R. (2003). Meat nitrosamine contamination level depending on animal breeding factors. *Meat Science*, 65(1), 669-676.
- Sebranek, J. G., & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136-147.
- Sindelar, J. J., Cordray, J. C., Sebranek, J. G., Love, J. A., & Ahn, D. U. (2007). Effects of varying levels of vegetable juice powder and incubation time on color, residual nitrate and nitrite, pigment, pH, and trained sensory attributes of ready-to-eat uncured ham. *Journal of Food Science*, 72(6), S388-S395.
- Sucu, C., & Turp, G. Y. (2018). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat Science*, 140, 158-166.
- Tian, Y., Du, H., Wang, L., Li, S., Zhang, L., & Zhang, L. (2020). Nitrite scavenging and inhibition of N-Nitrosamines formation by phenolic extracts from *Diospyros lotus* L. leaves and active ingredients. *Natural Product Communications*, 15(9), 1934578X20961186.

- Tricker, A. R., & Preussmann, R. (1991). Carcinogenic N-nitrosamines in the diet: occurrence, formation, mechanisms and carcinogenic potential. *Mutation research/genetic toxicology*, 259(3-4), 277-289.
- Wu, J., Guan, R., Huang, H., Liu, Z., Shen, H., & Xia, Q. (2019). Effect of catechin liposomes on the nitrosamines and quality of traditional Chinese bacon. *Food & Function*, 10(2), 625-634.
- Yao, X., Wang, X., Gu, C., Zeng, H., Chen, W., & Tang, H. (2016). Chemical composition, N-nitrosamine inhibition and antioxidant and antimicrobial properties of essential oil from *Coreopsis tinctoria* flowering tops. *Natural product research*, 30(10), 1170-1173.
- Yılmaz Oral, Z. F. (2023). ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ SUCUK ÜRETİMİNDE KÜRLEME AJANI OLARAK PAZI TOZU KULLANIMININ NİTROZAMİN OLUŞUMUNA VE KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİSİ. *GIDA: The Journal of Food*, 48(5).
- Yuan, Y., Meng, W., Yutian, M., Fang, C., & Xiaosong, H. (2015). Determination of eight volatile nitrosamines in meat products by ultrasonic solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry method. *International Journal of Food Properties*, 18(6), 1181-1190.
- Yurchenko, S., & Mölder, U. (2007). The occurrence of volatile N-nitrosamines in Estonian meat products. *Food chemistry*, 100(4), 1713-1721.
- Zhou, Q., Mo, M., Wang, A., Tang, B., & He, Q. (2023). Changes in N-nitrosamines, residual nitrites, lipid oxidation, biogenic amines, and microbiota in chinese sausages following treatment with tea polyphenols and their palmitic acid-modified derivatives. *Journal of Food Protection*, 86(5), 100072.

EFFECTS OF PERSIMMON (*DIOSPYROS KAKI L.*) PEEL POWDER ON THE PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF YOGURT

Asst. Prof. Dr., Melike DEMİRKOL

Tokat Gaziosmanpaşa University/Faculty of Engineering and Architecture
melike.demirkol@gop.edu.tr- 0000-0001-9433-8552

Hiba Tullah ALHAMDOW

Tokat Gaziosmanpaşa University/Faculty of Engineering and Architecture
alhamdow.hiba@gmail.com- 0009-0009-5648-7317

ABSTRACT

This study investigated the utilization of dried persimmon (*Diospyros kaki L.*) peel powder as a functional ingredient in yogurt production and its effects on the physicochemical and structural properties of the final product. The persimmon peel powder was prepared by drying at 55 ± 2 °C for 48 hours, followed by milling and sieving to obtain a fine powder. Chemical analyses revealed a titratable acidity of 0.89% (as malic acid), pH 5.56, low water activity (0.30), high dry matter content (92.98%), and a notable mineral content (1.67%). Functional properties showed a solubility of 56.75%, water-holding capacity of 3.92 g water/g, and oil-holding capacity of 1.58 g oil/g. Total phenolic content was measured at 14.85 mg GAE/g, with antioxidant activity (DPPH assay) corresponding to an EC50 value of 21.62 mg/mL. Yogurt samples enriched with 1%, 2%, and 3% peel powder showed pH values ranging from 4.43 to 4.57 and titratable acidity between 0.70% and 0.72%, meeting regulatory standards. The addition of peel powder significantly reduced serum separation, indicating improved structural stability, while hardness values remained statistically similar across samples. Color measurements indicated decreased lightness (L) and increased redness (a) and yellowness (b) with increasing peel content. The findings suggest that persimmon peel powder can serve as a natural stabilizer and functional additive in yogurt, enhancing its texture and water retention properties while contributing antioxidant compounds. This valorization of fruit peel by-products offers promising potential for the development of functional dairy products and sustainable food processing.

Anahtar Kelimeler: *Diospyros kaki L.* yogurt fortification, functional ingredients, antioxidant activity, food by-product valorization

Yağlı Tohumlu Bitkilerde Ağır Metallerin Etkisi: Tarımsal açıdan bir inceleme

Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR (ORCID: 0000-0002-3173-6147)

aynurbilmez@siirt.edu.tr

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye

Özet

Ağır metaller, toprakta ve suda doğal olarak bulunabilen, ancak sanayi, madencilik, fosil yakıt kullanımı ve tarım ilaçlarının aşırı kullanımıyla artan toksik elementlerdir. Ayrıca, yüksek konsantrasyonlarda bitki, hayvan ve insan sağlığı için tehdit oluşturan elementlerdir. Yağlı tohumlu bitkiler, bu ağır metallerin biriktiği önemli bir bitki grubu olmaktadır. Ağır metaller, toprakta doğal olarak bulunabilen ancak sanayi, madencilik, fosil yakıt kullanımı ve tarım ilaçlarının aşırı kullanımıyla artan toksik elementlerdir. Ağır metallerin yağlı tohumlu bitkilerdeki başlıca etkileri; bitki büyüme ve gelişiminde, verimde, yağ asitleri, protein ve karbonhidrat içeriği gibi besin azalmalarına sebep olabilmektedir. Yağlı tohumlu bitkiler (ayçiçeği, kanola, soya fasulyesi, susam vb.), hem insan beslenmesi hem de endüstriyel yağ üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak bu bitkiler, ağır metalleri toprak ve su yoluyla alarak biriktirebilmekte ve bu da hem bitkisel üretimi hem de tüketici sağlığını tehdit etmektedir. Yapılan araştırmalarda, kadmiyum, kurşun, krom, civa gibi ağır metallerin yağlı tohumlu bitkiler üzerindeki bu olumsuz etkilerini ortaya koymuştur. Alınan önlemler ve uygulanan ıslah çalışmaları ile bu olumsuz etkilerin azaltılması mümkündür. Bu makalede, yağlı tohumlu bitkilerde ağır metallerin fizyolojik, biyokimyasal ve tarımsal etkileri ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: yağlı tohumlu bitkiler, ağır metaller, uygulama, tarım

Effects of Heavy Metals on Oilseed Crops: An Agricultural Review

Abstract

Heavy metals are toxic elements that can be naturally found in soil and water, but increase with industry, mining, fossil fuel use and excessive use of pesticides. They are also elements that pose a threat to plant, animal and human health in high concentrations. Oilseed crops are an important group of plants where these heavy metals accumulate. Heavy metals are toxic elements that can be naturally found in soil, but increase with industry, mining, fossil fuel use and excessive use of pesticides. The main effects of heavy metals on oilseed crops are; plant growth and development, yield, and nutritional decreases such as fatty acids, protein and carbohydrate content. Oilseed crops (sunflower, canola, soybean, sesame etc.) are of great importance in terms of both human nutrition and industrial oil production. However, these plants can accumulate heavy metals by taking them through soil and water, and this threatens both plant production and consumer health. Studies have revealed these negative effects of heavy metals such as cadmium, lead, chromium and mercury on oilseed crops. It is possible to reduce these negative effects with the precautions taken and the breeding studies applied. In this article, the physiological, biochemical and agricultural effects of heavy metals in oilseed plants are discussed.

Keyword: oilseed plants, heavy metals, application, agriculture

1. Introduction

The Environmental and Agricultural Importance of Heavy Metals

The acceleration of industrialization has brought along environmental pollution problems. Soil, water, and air pollution are among the most significant environmental issues faced by developed countries today (Karaca, 2001). Once pollutants are released into the environment, they accumulate in living organisms, leading to toxic effects and posing serious threats to human health (Karaca et al., 2009; Gebregrekziabher and Tesfaye, 2014; Gürbüz and Özdemir, 2016). Among these pollutants are petroleum and its derivatives, radioactive waste, pesticides, detergents, bacteria, viruses, agricultural fertilizers, and especially heavy metals. Heavy metals are among the most dangerous pollutants due to their persistence in all environments.

Soil pollution refers to the degradation of the physical, chemical, biological, and geological structure of soil. Human-induced activities such as improper agricultural practices, uncontrolled use of fertilizers and pesticides, and the mixing of domestic and industrial waste into the soil cause this pollution (Dağhan, 2007; Karaca and Turgay, 2012; Dağhan and Öztürk, 2015).

Some pollutants in the soil can be naturally or physically-chemically remediated over time, but heavy metals remain persistent for long periods and are extremely difficult to remove. Scheffer and Schachtschabel (1989) stated that heavy metals are among the most harmful substances accumulated chemically in the soil and that their concentrations in natural resources are increasing.

With the global population increasing, pressure on agricultural production is also rising, leading to intensive farming practices and the uncontrolled release of environmental pollutants. Especially through industrial waste, exhaust gases, sewage, and agricultural chemicals, heavy metals such as cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), mercury (Hg), nickel (Ni), zinc (Zn), and chromium (Cr) accumulate in the soil, remain for long periods without dissolving, and enter the food chain via plants (Yalçınkaya et al., 2022). The effects of heavy metals on oilseed crops directly impact agricultural productivity, human health, and environmental sustainability.

Some heavy metals (e.g., zinc, iron, copper, manganese) play essential roles in the metabolism of living organisms, yet exhibit toxic effects at high concentrations (Dağhan, 2011). The environmental risk levels of heavy metals are directly related to their solubility, bioavailability, and toxic effects on plants (Çoban, 2020).

2. General Properties of Heavy Metals

Elements such as cadmium, chromium, mercury, lead, aluminum, and silver, with densities between 5–6 g/cm³, are classified as heavy metals. Some of these (e.g., zinc, copper, manganese) are essential for plant metabolism, while others (e.g., cadmium, lead, chromium) have no known biological function and exert toxic effects (Okçu et al., 2009).

Heavy metals naturally exist in rocks and therefore in soil composition. However, due to human activities, their natural distribution is being disrupted, and their concentrations are reaching environmentally harmful levels (Başkaya and Teksoy, 1997). Industrial activities, mining, irrigation with untreated wastewater, and the application of sewage sludge have made this pollution a global issue.

Common heavy metals found in soils include cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), lead (Pb), nickel (Ni), and zinc (Zn) (Jadia and Fulekar, 2008). While low doses of some support plant development, high concentrations of all these metals are harmful to plants. For example, lead and cadmium inhibit photosynthesis and chlorophyll synthesis, leading to stunted growth and chlorosis (Tang et al., 2009).

Mercury is released into the environment through atmospheric deposition and fungicides used in agriculture (Yıldız, 2004). Lead is primarily spread by traffic sources and accumulates in the upper parts of plants (Yörük, 2008).

Nickel (Ni) is an essential nutrient for plant growth, though soil concentrations are generally low; however, it can be found in high levels in serpentine soils. While accumulation occurs in arid regions, it may dissolve into the soil solution in humid areas (Kantarıcı, 2000). Copper (Cu) enhances plant resilience but becomes toxic at high concentrations (Plaster, 1992).

Each heavy metal has different persistence in soil, bioavailability, and effects on plant tissues. It is also known that these metals can reach humans through the soil–food chain (Khan et al., 2009; Lu et al., 2011).

Compared to other environmental pollutants, heavy metal pollution is more persistent and harder to reverse. As a result, it degrades the quality of air, soil, and water, accumulates in the food chain, and poses a significant threat to humans and other living beings (Li et al., 2019; Turksoy et al., 2021)

Table 1. Sources of Toxic Heavy Metals in the Environment (Markert, 1993)

| | |
|--|--|
| Particulates and Fumes in the Biosphere | Vehiclesr (<i>Cd, Pb, Mo</i>) |
| | Cities and Factories (<i>Cd, Cu, Pb, Sn Hg, V</i>) |
| | Fossil Fuels (<i>As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, V, U, Pb, Sr, Zn, Ti</i>) |
| Industry | Plastics (<i>Co, Cr, Cd, Hg</i>) |
| | Wood Processing (<i>Cu, Cr, As</i>) |
| | Household Appliance Production (<i>Cu, Ni, Zn, Cd, Sb</i>) |
| | Textile industry (<i>Zn, Al, Ti, Sn</i>) |
| | Refinery (<i>Pb, Ni, Cr</i>) |
| Metal and Mining Industry | Iron and Steel Industry (<i>Zn, Cu, Ni, Cr, Cd</i>) |
| | Metal Processing (<i>Zn, Cu, Ni, Cr, Cd, Hg, Pb, As</i>) |
| | Metal Smelting (<i>As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se</i>) |
| Agriculture | Irrigation (<i>Cd, Pb, Zn</i>) |
| | Lime Materials (<i>As, Pb</i>) |
| | Metal Corrosion (<i>Fe, Pb, Zn</i>) |
| | Chemical and Animal Fertilizers (<i>As, Cd, Cu, Mn, Zn, U, V</i>) |
| Wastes | Sewage (<i>Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, V, Pb, Zn</i>) |
| | Ashes (<i>Cu, Pb</i>) |
| | Digging and Drilling (<i>As, Cd, Fe, Pb</i>) |

3. Heavy Metal Accumulation and Effects in Oilseed Crops

Plants exhibit species- and genotype-level differences in their sensitivity to heavy metals (Kranner and Colville, 2011). Heavy metals have been proven to adversely affect many physiological processes such as germination, root-shoot development, photosynthesis rate, enzyme activity, and lipid synthesis (Ozyigit et al., 2018; Aydın, 2018).

In particular, cadmium and lead reduce biomass production in oilseed crops and alter the lipid profiles of seeds. This leads to a decline in both the quantity and quality of vegetable oils. In fact, Cd residues have been detected in sunflower and cottonseed oils (Küçük et al., 2021), posing a serious risk to human health.

Studies show that some seed types exhibit greater tolerance to heavy metals during germination, while others respond more sensitively at later stages such as root development (Esetlili, 2016; Li et al., 2005). This variation is related to the detoxification mechanisms possessed by the species.

Additionally, the physical structure of the soil where seeds are grown is an important factor affecting metal accumulation. Plants grown in sandy soils accumulate more heavy metals than those grown in clayey soils (Esetlili, 2016).

4. Phytoremediation and Prevention Methods

Various methods are used to remove heavy metals from soil, including physical, chemical, and biological approaches. Among the biological methods, phytoremediation is an environmentally friendly technique that enables the removal of heavy metals through plant uptake (Dağhan and Öztürk, 2015). For this method to succeed, the plant used must be fast-growing, deep-rooted, metal-tolerant, and have abundant green biomass.

Plants bind heavy metals in their roots, limit transpiration, protect photosynthesis, and continue their development without damage (Hall, 2002). At the same time, they activate antioxidant defense mechanisms to combat oxidative stress (Sgherri et al., 2003).

Conclusion and Recommendations

Heavy metal pollution is a global problem that not only threatens ecosystems but also directly endangers human health. The accumulation of these metals in soil negatively impacts agricultural production and food security. Oilseed crops are significant agricultural products that are particularly sensitive to this pollution. Therefore, regular soil monitoring, the prevention of uncontrolled release of industrial waste, the widespread adoption of environmentally friendly methods such as phytoremediation, and the development of heavy metal-tolerant plant varieties are essential.

In countries like Turkey, where agricultural potential is high, agricultural policies should be implemented to reduce soil pollution, and monitoring and inspection systems should be strengthened. Moreover, promoting environmentally friendly farming techniques plays a critical role in ensuring the sustainability of agricultural production.

Regular soil analyses should be conducted, and the cultivation of oilseed crops in areas with high heavy metal accumulation should be restricted. Increasing organic matter content can reduce the bioavailability of heavy metals and improve soil quality. The use of fertilizers and pesticides should be controlled, and agricultural inputs with low heavy metal content should be encouraged.

A robust monitoring system should be established to identify and control heavy metal sources, and the leakage of industrial waste into the soil must be prevented. Additionally, farmers should be educated on heavy metal pollution, and agricultural consultants should take an active role in this process. While supporting domestic oilseed production, quality control systems should be made mandatory.

In conclusion, increasing collective efforts to combat heavy metal pollution will lead to sustainable solutions in agricultural practices and environmental management. In this context, steps taken to overcome current limitations and prevent future pollution are crucial for preserving ecosystem health and supporting socio-economic development.

Thus, both soil health will be preserved and sustainable agricultural practices will be promoted.

Referances

- Aydın, G., 2018. Yağlı tohumlu bitkilerde çevresel stres faktörlerinin etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(2), 165–172.
- Başkaya, H.S., Teksoy, A., 1997. Topraklarda ağır metaller ve ağır metal kirliliği, I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 763-771.
- Çoban, H., 2020. Bitkilerde ağır metal alım mekanizmaları. *Bitki Fizyolojisi Araştırmaları*, 5(1), 32–47.
- Dağhan, H., 2007. Fitoremediasyon: Bitki kullanılarak kirlenmiş alanların temizlenmesi. GAP V. Tarım Kongresi, Bildiri Kitabı, 17-19 Ekim, Şanlıurfa, s. 362-367.
- Dağhan, H., 2011. Doğal kaynaklarda ağır metal kirliliğinin insan sağlığı üzerine etkileri. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(2): 15-25.
- Dağhan, H., Öztürk, M., 2015. Soil pollution in Turkey and remediation methods. In: K.R. Hakeem, M. Sabir, M. Ozturk, A. Mermut (Eds), *Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges*, September 2015, Academic Press., Elsevier, New York, pp. 287-312.
- Esetlili, B.Ç., 2016. Farklı Bünyeli Topraklarda Yetiştirilen Ayçiçeği ve Yonca Bitkilerinin Ağır Metal Absorpsiyonları. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 53 (3):333-341
- Gebregrekziabher, B., Tesfaye, S., 2014. “Assesments of levels of lead, cadmium, copper and zinc contamination in selected edible vegetables” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7, 78-86.
- Gürbüz, M., Özdemir Y., 2016. “Afşin-Elbistan termik santrallerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin mesafe tabanlı algı analizi” *Türk Coğrafya Dergisi*, 66, 43-50.
- Hall, J.L., 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance, *Journal of Experimental Botany*, 53, 1–11.
- Jadia, C.D., Fulekar, M.H., 2008. Phytoremediation: The application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 7(5): 547-558.
- Kantarıcı, M.D., 2000. Toprak İlimi. İÜ Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İ Ü Yayın No. 4261, Orman Fakültesi Yayın 462, İstanbul, 420
- Karaca A., Türkmen C., Arcak S., Haktanır K., Topçuoğlu B., Yıldız H., 2009. “Çayırhan termik santral emisyonlarının yöre topraklarının bazı ağır metal ve kükürt kapsamına etkilerinin belirlenmesi” *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1, 16-32.
- Karaca, A., Turgay, O.C., 2012. Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 1(1):13-19.

- Karaca A., 2001. "Afşin-Elbistan termik santrali emisyonlarının çevre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkileri" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 7, 95-102.
- Khan, N.I., Owens, G., Bruce, D., Naidu, R., 2009. Human arsenic exposure and risk assessment at the landscape level: a review. *Environmental Geochemistry and Health* 31: 143–166. doi: 10.1007/s10653-008-9240-3 PMID: 19172401.
- Kranner, I., Colville, L., 2011. Metals and seeds: Biochemical and molecular implications and their significance for seed germination. *Environmental and Experimental Botany*, 72, 93-105.
- Küçük, M., Yılmaz, N., Altuntaş, S., 2021. Ayçiçeği tohumlarında ağır metal birikimi ve risk değerlendirmesi. *Gıda Kontrol ve Toksikoloji Dergisi*, 6(2), 89–97.
- Li, W.Q., Khan, M.A., Yamaguchi, S., Kamiya, Y., 2005. Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regulation*, 46: 45-50.
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., Han, W., 2019. A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Lu, Y., Yin, W., Huang, L.B., Zhang, G.L., Zhao, Y.G., 2011. Assessment of bioaccessibility and exposure risk of arsenic and lead in urban soils of Guangzhou City, China. *Environmental Geochemistry and Health* 33: 93–102. doi: 10.1007/s10653-010-9324-8 PMID: 20524051.
- Markert, B., 1993. *Plants As Biomonitors: Indicators For Heavy Metals in The Terrestrial Environment*, Vch, Weinheim, Frgermany, 640.
- Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M., 2009. Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Ozyigit, I.I., Yalcin, B., Turan, S., Saracoglu, I.A., Karadeniz, S., Yalcin, I.E., Demir, G., 2018. Investigation of heavy metal level and mineral nutrient status in widely used medicinal plants' leaves in Turkey: Insights into health implications. *Biological Trace Element Research*, 182(2), 387-406.
- Plaster, E.J., 1992. *Soil Science and Management*. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 1989. *Lehrbuch der Bokerkunde*, 12 Aufl. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Sgherri, C., Cosi, E., Navari-Izzo, F., 2003. Phenols and antioxidative status of *Raphanus sativus* grown in copper excess, *Physiologia Plantarum*, 118, 21–28.
- Tang, Y.T., Qiu, R.L., Zeng, X.W., Ying, R.R., Yu, F.M., Zhou, X.Y., 2009. Lead, zinc, cadmium hyperaccumulation and stimulation in *Arabis paniculata* Franch. *Environmental and Experimental Botany*, 66: 126-134.
- Turksoy, R., Terzioglu, G., Yalcin, I. E., Turksoy Terzioglu, O., Demir, G., 2021. Removal of heavy metals from textile industry wastewater. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 2(2), 44-50
- Yalçinkaya, T., Polat, M., Keskin, N., 2022. Topraklarda ağır metal kirliliği ve tarımsal etkileri. *Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 11(2), 98–105.

Yıldız, N., 2004. Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum

Yörük, O., 2008. Ergene Havzasında Yeriştirilen Ayçiçek Bitkisinde (*Helianthus annuus* L.) Bazı Eser Element İçeriklerinin ICP-OES ile Tayini (Yüksek Lisans Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı Edirne.

FARKLI DOZLARDA MELAS UYGULAMASININ TOPRAKLARIN BAZI BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Öğr. İbrahim N.I. DRBAS
Atatürk Üniversitesi, ibrahimni.drbas22@ogr.atauni.edu.tr –
ORCID ID: 0009-0006-1288-0211

Prof. Dr. Serdar BİLEN
Atatürk Üniversitesi, sbilen@atauni.edu.tr –
ORCID ID: 0000-0003-0516-1893

ÖZET

Şeker pancarı ve şeker kamışı bitkilerinden şeker üretimi esnasında yan ürün olarak koyu renkli, şurup kıvamındaki melas elde edilmektedir. Melas protein, şeker, NPK bakımından zengin bir besin kaynağıdır. Hayvan yemi üretiminde, kömür sanayisinde, gübre yapımında ve alkol üretiminde melas kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; topraklara farklı dozlarda uygulanan melasın toprakların biyolojik özellikleri üzerine etkilerini belirlemektir. Çalışmada serada yürütülmüş killi ve kumlu tekstürde toprak örnekleri 4 mm'den elenmiş saksılara 1 kg toprak örneği konulmuştur. Saksı topraklarına 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 ve 6.0 ton da⁻¹ hesabıyla sırası ile 0, 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016 ve 0.024 g saksı⁻¹ olacak şekilde artan dozlarda melas uygulanmış ve toprakların nemi tarla kapasitesi nem düzeyinde sabit tutulmuştur. Farklı dozlarda melas uygulamasının 15, 30 ve 45 gün inkübasyon süresi sonunda toprakların toplam N, elverişli P₂O₅, mikroobiyal popülasyon ve toprak CO₂ salınımı analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; farklı tekstüre sahip topraklara farklı dozlarda melas uygulamasının ve toprakların ortalama toplam N, elverişli P₂O₅, mikroobiyal popülasyon ve CO₂ salınımı üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bulunmuş, melas dozlarının artışına bağlı olarak toplam N, elverişli P₂O₅, bakteri, mantar popülasyonu ve CO₂ salınımı değerleri artış göstermiştir. İnkübasyon süresinin artışına bağlı olarak toprakların toplam N, elverişli P₂O₅, bakteri ve mantar popülasyonu ve CO₂ salınımı artış göstermiş, bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Topraklara melas uygulamasının toprakların verimliliği üzerine önemli katkılar sağladığı, mikroobiyal aktiviteyi ve CO₂ salınım miktarını artırdığı ve bitkisel üretimde 4 ton da⁻¹ oranında melas uygulanmasının toprak verimliliğine önemli katkılar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler— Melas, toprak azot içeriği, elverişli P₂O₅ içeriği, CO₂ salınımı, bakteri popülasyonu, mantar popülasyonu.

EFFECTS of DIFFERENT DOSES of MOLASSES APPLICATION on SOME BIOLOGICAL PROPERTIES of SOILS

ABSTRACT

Molasses, a dark, syrupy molasses, is obtained as a byproduct during sugar production from sugar beet and sugar cane plants. Molasses is a nutrient rich in protein, sugar, and NPK. Molasses is used in animal feed production, the coal industry, fertilizer production, and alcohol production.

The purpose of this study is to determine the effects of molasses applied at different doses on the biological properties of soils. In the study, soil samples with clay and sandy textures were sieved to 4 mm in a greenhouse. 1 kg of soil was placed in pots. Molasses was applied to the pots at increasing doses of 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, and 6.0 ton da⁻¹, respectively, at 0, 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016, and 0.024 g pot⁻¹. The soil moisture was kept constant at field capacity moisture. After 15, 30, and 45 days of incubation, molasses application at different doses resulted in analyses of total N, available P₂O₅, bacterial and fungal counts, and soil CO₂ release. The results were evaluated.

According to the research results, the effects of molasses application at different doses on soils with different textures and on the average total N, available P₂O₅, bacterial and fungal populations, and CO₂ release were found to be statistically significant (p<0.05). Total N, available P₂O₅, bacterial and fungal populations, and CO₂ release values increased with increasing molasses doses. Total N, available P₂O₅, bacterial and fungal populations, and CO₂ release increased with increasing incubation time, but these increases were not statistically significant.

It has been concluded that the application of molasses to soils makes significant contributions to soil fertility, increases microbial activity and CO₂ emissions, and that the application of molasses at a rate of 4 tons da⁻¹ in plant production will make significant contributions to soil fertility.

Keywords- Molasses, soil nitrogen content, favorable P₂O₅ content, CO₂ release, bacterial population, fungal population.

1. GİRİŞ

Organik madde bakımından zengin olan organik gübreler N, K ve P bakımından zengindirler ve bitki gelişimi ve toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu katkılar sağlamaktadırlar. Organik gübrelerin faydalarının yanı sıra bazı çevre sorunlarına neden olmaları sebebi ile zararları da mevcuttur. Özellikle uygun olmayan koşullarda depolanması durumunda koku, sızıntı gibi sorunlar ortaya çıkabilmekte ve bazı sinek, böcek, haşere ve mikroorganizmaların üremesi sonucu çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir (Yaldız 1991).

Ülkemiz topraklarının % 75'den fazlasında organik madde ve N miktarı az veya çok az olup, % 6 civarında yeterli ve fazla sınıfında yer almaktadırlar. Topraklarımızın %75'inde bitkilere elverişli P₂O₅ miktarı çok az veya az sınıfında olup, % 14'ünde bitkilere elverişli P₂O₅ miktarı fazla sınıfında yer almaktadır. Topraklarımızın % 80'inde bitkiler tarafından alınabilir K miktarı fazla veya çok fazla sınıfında, sadece % 1.3'ü yetersiz sınıfında bulunmaktadır (Yetgin, 2010). Bu sebeple ülkemiz topraklarının büyük çoğunluğuna organik kaynaklı gübre ilavesi yapılması gerekmektedir.

Tarımda kullanılan girdiler ve üretilen hasat atıkları (sap, saman, anız, bitki atıkları, fındık zurufu vb.) veya tarımsal sanayi atıkları (küspe, melas, bira sanayi atıkları vb.) artış göstermektedir (Çıtak ve ark., 2006; Kurt, 2019). 'Atık' olarak isimlendirilen organik materyaller tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanılabilir ve yetiştirilen ürünlerin besin değerini artırabilirler. Tarımsal toplam atık miktarı 46.209.950 ton civarında ve bahçe ürünleri toplam atık miktarı ise 5.166.413 ton civarındadır (Başçetinçelik ve ark., 2005).

Yaygın kullanılan organik gübreler, organik atıklar; yeşil gübreler, çöp gübreleri, kuş gübresi, balık gübresi (balık unu), kompostlar, fekalier (insan gaitası), kan tozu (unu), boynuz, kemik unu, deri tozu, tırnak tozu, tütün tozu, hümitik asit, su yosunu, pamuk çığıdi küspesi, ayçiçeğı sapı külü, şeker pancarı küspesi, melas, çay artığı, gibi endüstri artıkları, vb sayılabilir (Anonim, 2004).

Melas şeker fabrikalarının atık maddelerinden birisidir ve şeker fabrikalarında şeker üretimi sırasında üretilen bir yan üründür. Şekerin kristalleşemeyen halidir. Melas protein, şeker, K, P ve azotlu bileşikler bakımından zengindir. Melasın inorganik besin elementleri içeriğı potasyum, magnezyum ve azota bağlıdır (Anonymous, 2006b). Pancar melasının % 10–12'sini oluşturan külün % 50'si K₂O'dur. Melas özellikle zengin K içeriğı nedeniyle, potasyum bakımından fakir topraklarda uygulanması ile verimi artırabilir ve toprak düzenleyicisi olarak da kullanılabilir (Kasap, 1991). Melas, topraktaki potasyumun kullanılabilirliğini artırmaktadır (Sanli vd., 2015). Tarım arazilerine dikimden iki hafta önce 1–2 ton da⁻¹ oranında melas uygulanması ile topraklara 50–100 kg K₂O da⁻¹ oranında katkı sağlanabilir (Anonymous, 2006b).

Dünya melas üretimi 44.6-52.5 milyon ton civarında olup, en fazla melas 11.5 milyon tonla Brezilya ve 6,5 milyon tonla Hindistan tarafından üretilmektedir. Türkiye'de 2004–2005 döneminde 600.000 ton civarında melas ürettiğı belirtilmektedir (Anonim, 2006a).

Melas hayvan besleme, alkol ve gübre gibi farklı endüstrilerde kullanılmaktadır (Samavat ve Samavat, 2014). Melas Nepal'de büyük miktarda üretilmektedir ve şeker endüstrilerinin melas

satması yasaktır (Dhakal, 2018). Nepal’de organik gübre olarak kimyasal gübrelerin yerine yaygın olarak melas kullanılmaktadır (Dahal ve Bhandari, 2019).

Melasın tarımda kullanımını sonucu bitki besin elementlerinin alımının ve toprak verimliliğinin ve buna bağlı olarak toprağın biyolojik aktivitesini uyardığı belirlenmiştir (Samavat ve Samavat, 2014; Geremew Kassa et al., 2024). Melas karbonhidrat içermesi sebebi ile toprağın mikrobiyal ekolojisini etkilemekte ve bitki paraziti nematodları azaltarak C:N oranını değiştirmekte ve bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Schenck, 2001; Samavat ve Samavat, 2014; Waguespack et al., 2022). Ayrıca, toraklara melas ilavesinin dehidrogenaz aktivitesini ve β -glukozidaz aktivitesini artırdığı belirtilmiştir (Bilen, 2010; Yi et al., 2020).

Toprak organik iyileştiricileri arasında, şeker kamışı endüstrisinin bir yan ürünü olan ve makro ve mikro besin maddeleri (N, P, K, Ca, Mg ve Fe gibi) içeren melas, toprak verimliliğini artırmak için ekilebilir arazilere uygulanmıştır (Madejón et al., 2001; Srivastava et al., 2012; Pyakurel et al., 2019; Li et al., 2020). Melasın bitkinin NPK alımını ve toprakların verimliliğini artırdığı bazı çalışmalarda ifade edilmiştir (Abo-Baker, 2017). Ayrıca melasın toprağı kısmen sterilize ettiği ve nitrojen fiksasyonunu arttırdığı ifade edilmektedir (Rouillard, 1954).

Melas daha önceleri kumlu ve zayıf yapılı topraklarda gübre ve kısmen de toprak iyileştirici olarak kullanılmıştır (Barnes, 1954). Topraklara melas uygulamasının toprağın özelliklerini iyileştirdiği ve sertleşen topraklarda yüzey kabuklanmasının oluşumunu azalttı belirtilmiştir (Wynne ve Meyer, 2002). Melas uygulaması ile büyük boyutta agregatların oluşumunu artırmaktadır. Melasın içerdiği yüksek N mikrobiyal aktivitenin artmasına ve sonuçta agregatlaşmaya olumlu etki sağlamaktadır (Yılmaz ve Alagöz, 2005).

Bu çalışmanın amacı, şeker üretiminde şeker pancarından elde edilen son ürün melasın farklı dozlarının ve farklı inkübasyon sürelerinin toprakların toplam N, elverişli P_2O_5 , bakteri, mantar popülasyonu, toprak CO_2 salınımı üzerine olan etkilerini araştırmak ve melasın kimyasal gübre kullanımının azaltılması yolunda alternatif bir organik gübre olup olamayacağını değerlendirmektir.

2. DENESEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Denemede Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Çiftlik arazisinden alınan Kumlu bünyeli ve Daphan ovasından alınan Killi bünyeli toprak örnekleri kullanılmıştır. Melas ise Erzurum ili Ilıca ilçesinde bulunan Ilıca Şeker Fabrikasından elde edilmiştir.

2.2. Yöntem

Saksılara 4 mm’den elenmiş 1000 g toprak konulmuş, 0, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 ve 6.0 ton da^{-1} hesabıyla sırası ile 0, 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016 ve 0.024 g saksı $^{-1}$ olacak şekilde artan dozlarda melas uygulaması yapılmıştır. Melas uygulaması tarla kapasitesi nem miktarına eşdeğer sulama suyu ile birlikte verilmiştir ve saksıların nem içerikleri tarla kapasitesi nemde muhafaza edilmiştir. Topraklar 15, 30 ve 45 gün süre inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon

süresi sonunda toprak örnekleri alınarak toplam azot, elverişli P₂O₅, bakteri ve mantar sayımı ve toprak CO₂ içeriği analizleri yapılarak kontrol toprağı ile karşılaştırılmıştır.

Toprak Analizleri: İnkübasyon sonrası topraklarda toprak reaksiyonu pH metre ile (Handershot *et al.* 1993), kireç içeriği Scheibler Kalsimetresi ile volümetrik olarak (Goh *et al.* 1993), organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle (Tiessen and Moir 1993), katyon değişim kapasitesi Na asetat (1 N, pH=8.2) – NH₄ asetat (1 N, pH=7.0) ekstraksiyonu ile AA spektrofotometresinde okunarak (Rhoades, 1982), değişebilir katyonlar NH₄ asetat (1 N, pH=7.0) ekstraksiyonu ile AA spektrofotometresinde okunarak (Knudsen *et al.* 1982), elverişli fosfor molibdofosforik mavi renk yöntemine ile spektrofotometrede okunarak (Olsen and Sommers 1982), toplam azot Kjeldahl yöntemiyle (Mc Gill and Figueiredo 1993), elektiriksel iletkenlik saturasyon macunlarının ekstraksiyon çözeltilerinde EC aleti ile okunarak (Demiralay 1993), toprak tekstürü Bouyoucos Hidrometre yöntemiyle, tekstür sınıfı ise tekstür üçgeni ile (Gee and Bauder 1986) belirlenmiştir.

Toprakların bakteri ve mantar sayısı; dilüsyon metoduna göre, 10⁻⁶ dilüsyon çözeltilerinde bakteriler için Nutrient Agar (NA) besiyerinde, mantar için Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerinde, 28°C’de 3-5 gün inkübasyon sonrası petri kutularının arkasından koloni sayımı yapılarak (Germida 1993; Kızıloğlu ve Bilen 1997), toprakların CO₂ salınım miktarı (Bazal respirasyon) Toprak örneğinden salınan CO₂ gazı NaOH içerisinde biriktirilir, NaHCO₃ oluşturulur ve BaCl ilavesinden sonra BaCO₃’ın çökmesi sonrasında H₂SO₄ ile CO₂ ile doymayan NaOH miktarının titrasyonu ile (Anderson 1982; Kızıloğlu ve Bilen 1997) belirlenir.

Melas Analizleri:

Melasın nem içeriği fırında 105 °C’de kurutularak tartım ile, kuru madde içeriği fırında 65°C’de kurutularak tartım ile (Kacar 2014), asitlik; 1:5 melas-su oranında pH metresi ile (Mc Lean 1982), elektriksel iletkenlik; 1:5 gübre-su oranında EC aleti ile (Jackson 1967), makro mikro element içeriği Nitrik-Perklorik asit ile yaş yakılarak (Kacar 2014), ICP OES spektrofotometresinde okunarak (Mertens 2005), ham kül ve organik madde içeriği 550 °C’de kül fırınında 2 saat bekletilerek kuru yakma yöntemi ile (Kacar 1994), toplam şeker Lane-Eynon metoduna göre yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazında okunarak (MEB, 2011), toplam azot; salisilik-sülfürik asit karışımı ile yaş yakma sonrası mikrokjeldahl yöntemiyle (Kacar 2014), ham protein; Kjeldahl yöntemiyle (Mc Gill and Figueiredo 1993), fosfor içeriği; nitrik perklorik asit ile yaş yakma sonrası, vanadomolibdat sarı renk yöntemine göre AA spektrofotometresinde okunarak (Bayraklı, 1987) belirlenmiştir.

2.3. Deneme Planı ve İstatistiksel Analiz Yöntemi

Çalışma 3 tekrarlı Tesadüf parselleri desenine göre saksılarda yürütülmüş, kumlu ve killi tekstüre sahip toprak örnekleri üzerine ilave edilen sırası ile 0, 0.001, 0.002, 0.004, 0.008, 0.016 ve 0.024 g saksı⁻¹ melas dozları uygulanmıştır. Uygulamadan sonra saksı toprakları 15, 30 ve 45 gün inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon sonrası saksılardan toprak örnekleri alınarak analizler yapılmıştır. Buna göre toplam 36 saksıda (2 farklı toprak x 6 farklı melas dozu x 3 Tekerrür) deneme yürütülmüştür.

Çalışmada SPSS 17.0 istatistik paket programı kullanılarak varyans (ANOVA) analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile ortalamalar arasındaki farklar test edilmiştir (Yurtsever 1984).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Deneme alanından 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Özellik | Kumlu Toprak | Killi Toprak | Yeterlilik |
|--|---------------------|---------------------|--------------|
| pH, 1:2.5 toprak:su | 7.06 | 7.62 | Hafif alkali |
| Organik madde, % | 1.83 | 1.14 | Az |
| Kireç, CaCO ₃ , % | 1.42 | 1.12 | Kireçli |
| Toplam N, % | 0.049 | 0.039 | Çok az |
| Elverişli P ₂ O ₅ , kg da ⁻¹) | 9.63 | 6.56 | Orta / Fazla |
| Değişebilir Katyonlar (me 100 g ⁻¹) | Ca ⁺² | 20.14 | Fazla |
| | Mg ⁺² | 9.41 | Azla |
| | K ⁺¹ | 3.31 | Az |
| | Na ⁺¹ | 0.15 | Az |
| Mikroelementler, ppm | Fe ⁺² | 21.32 | - |
| | Cu ⁺² | 4.49 | - |
| | Zn ⁺² | 1.96 | - |
| | Mn ⁺² | 11.52 | - |
| K.D.K., me 100 g ⁻¹ | 35.14 | 30.15 | - |
| Elektriki İletkenlik, dS m ⁻¹ | 1.61 | 1.26 | Tuzsuz |
| Toplam Tuz, % | 0.091 | 0.081 | Tuzsuz |
| Tane büyüklük dağılımı | Kum, % | 55.2 | 25.2 |
| | Silt, % | 24.6 | 27.5 |
| | Kil, % | 20.2 | 47.2 |
| Tekstür Sınıfı | KUMLU | KİLLİ | |
| Total bakteri koloni sayısı, cfu ml ⁻¹ | 3.1x10 ⁷ | 3.7x10 ⁷ | - |
| Total mantar spor sayısı, spor ml ⁻¹ | 3.8x10 ⁵ | 4.1x10 ⁵ | - |
| CO ₂ salınımı, ton CO ₂ ha yıl ⁻¹ | 1.24 | 1.20 | - |

Denemede kullanılan melasın bazı analiz değerleri Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan melasın bazı kimyasal içerikleri.

| Özellik | Değer | Özellik | Değer |
|------------------------------|------------|--|-------|
| Renk | Koyu Kahve | Toplam Azot, ppm | 48 |
| Yoğunluk, g cm ⁻³ | 1.32 | Fosfor (P), % | 0,65 |
| pH, (1:2.5) | 8.0±1 | K (%) | 2,03 |
| Nem, (%) | 10 | Ca (%) | 0,25 |
| Kuru Madde, (%) | 69 | Mg (%) | 0,02 |
| Kül, % | 10.2 | Na (%) | 0,54 |
| Organik Madde, % | 89.8 | Elektrik İletkenlik, (dS m ⁻¹) | 7.60 |

| | | | |
|-----------------|----|----------------|------|
| Toplam Şeker, % | 53 | Ham Protein, % | 10.3 |
|-----------------|----|----------------|------|

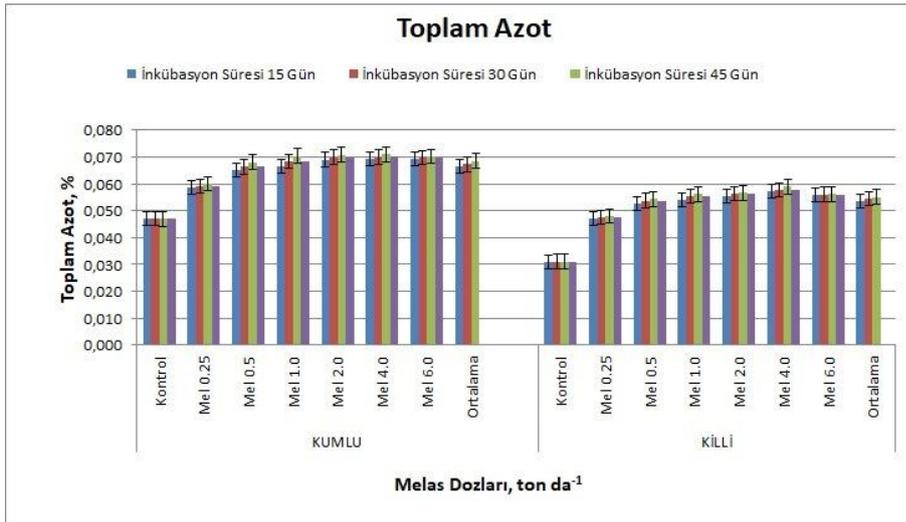
Denemede kullanılan melas bazik karakterdedir. Melasın kuru madde miktarı % 69, organik madde miktarı % 89.8, toplam şekeri %53 ve am protein oranı % 10.3 civarında olup, ortalama maksimum ve minimum değerleri göz önüne alındığında çok zengin bir içeriğe sahip değildir. Besin elementi bakımından zengin bir atıktır (Çizelge 3.2).

3.1. Melas Uygulamasının Toprakların Toplam N İçeriği Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda melas uygulamasının farklı inkübasyon sürelerinde toprakların ortalama toplam N içeriği üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.1'de verilmiştir.

Görsel 3.1'e göre farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik arazisi ve Daphan ovası toprakların toplam N içerikleri üzerine etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Toprakların toplam N içerikleri melas dozunun (M_0 , $M_{0,25}$, $M_{0,5}$, $M_{1,0}$, $M_{2,0}$, $M_{4,0}$ ve $M_{6,0}$) artışına bağlı olarak Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarında artış göstermiştir.

Kontrole göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük toprak toplam N içeriği melas uygulamasının $M_{0,25}$ doz uygulamasının ve 15 günlük inkübasyonundan (% 0.0587, % 0,0471) elde edilmiştir. En yüksek toprak toplam N içeriği melas uygulamasının $M_{4,0}$ doz uygulamasının ve 45 günlük inkübasyonundan (% 0.0710, % 0,0589) elde edilmiştir.



Görsel 3.1. Farklı inkübasyon sürelerinde farklı dozlarda melas uygulamalarının toprakların toplam N içeriği üzerine etkisi

Toprakların inkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların toplam azot içerikleri inkübasyon sürelerinin artışına bağlı olarak artış göstermiş, ancak bu artış istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmamıştır. Melas uygulamasının bütün dozlarında en düşük toplam azot değeri 15 günlük inkübasyondan, en yüksek toplam azot değeri ise 45 günlük inkübasyonundan elde edilmiştir (Görsel 3.1).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında killi bünyeli Çiftlik arazisi topraklarında toplam azot içerikleri (% 0.0673) kumlu bünyeli Daphan ovası topraklarına göre (% 0.0544)

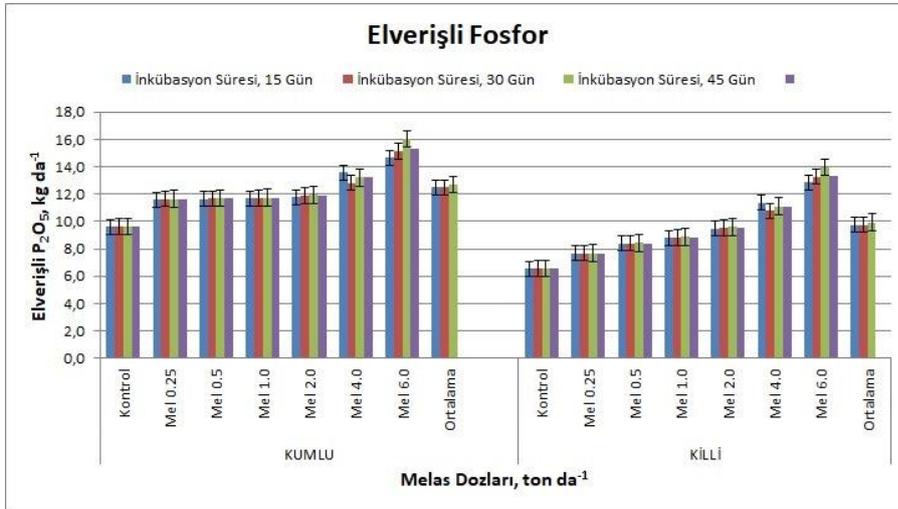
daha yüksek toplam azot değeri göstermiştir. Farklı tekstürdeki topraklara uygulanan melas toprakların toplam azot içeriklerinde farklı değerler göstermiştir. Bu durum farklı toprak tekstürünün toprakların toplam N içerikleri üzerine etkilerinin farklı düzede olduğunu ortaya koymuştur (Görsel 3.1).

Bu sonuçlara göre; artan dozlarda melas uygulaması toprakların azot içeriğini artırmıştır. Bilindiği üzere melas bir organik madde kayağıdır ve mikroorganizmalar tarafından parçalanarak topraklara azot kazandırmaktadır. Bu süreç azotun biyolojik döngüsünün bir sonucu olarak gerçekleşir ve topraklarda azotun biyolojik olarak faydalı formlara dönüşmesine katkıda bulunur (Barnes, 1954). Yapılan çalışmalarda topraklara melas uygulamasının topraklara N kazandırdığı belirlenmiştir. Melas topraklara karbonhidrat sağlar ve C:N oranını değiştirir, bu da toprak mikrobiyal ekolojisini etkiler ve bitki paraziti nematodlarını azaltır ve bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler sağlar (Schenck, 2001). Yine yapılan çalışmalarda melasın toprakların NPK alımını ve verimini artırdığı belirtilmiştir (Abo-Baker, 2017). Melasın toprağı kısmen sterilize ederek azot fiksasyonunu artırdığı belirtilmiştir (Rouillard, 1954). Çalışmamızın sonuçları daha önceden yapılan çalışmalarla benzer sonuçları göstermektedir.

3.2. Melas Uygulamasının Toprakların Elverişli Fosfor İçeriği Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda melas uygulamasının toprakların elverişli P_2O_5 içeriği üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.2'de verilmiştir.

Görsel 3.2'e göre farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının elverişli P_2O_5 içerikleri üzerine etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Toprakların elverişli P_2O_5 içerikleri melas dozunun artışına bağlı olarak Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarında artış göstermiştir.



Görsel 3.2. Farklı inkübasyon sürelerinde farklı dozlarda melas uygulamalarının toprakların elverişli P_2O_5 içeriği üzerine etkisi

Kontrole göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük elverişli P_2O_5 içeriği melas uygulamasının $M_{0.25}$ doz uygulamasının 15 günlük inkübasyonundan ($11.612 \text{ kg da}^{-1}$, 7.664 kg da^{-1}) elde edilmiştir. En yüksek elverişli P_2O_5 içeriği melas uygulamasının $M_{6.0}$ doz

uygulamasının 45 günlük inkübasyonundan ($15.281 \text{ kg da}^{-1}$, $13.358 \text{ kg da}^{-1}$) elde edilmiştir (Görsel 3.2).

Toprakların inkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların elverişli P_2O_5 içeriği inkübasyon sürelerinin artışına bağlı olarak artış göstermiş, ancak bu artış istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) bulunmamıştır. Melas uygulamasının bütün dozlarında en düşük elverişli P_2O_5 içeriği 15 günlük inkübasyondan, en yüksek elverişli P_2O_5 içeriği ise 45 günlük inkübasyonundan elde edilmiştir (Görsel 3.2).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında killi bünyeli Çiftlik arazisi topraklarında elverişli P_2O_5 içeriği ($12.560 \text{ kg da}^{-1}$) kumlu bünyeli Daphan ovası topraklarına göre (9.820 kg da^{-1}) daha yüksek elverişli P_2O_5 içeriği göstermiştir. Farklı tekstürdeki topraklara uygulanan melas toprakların elverişli P_2O_5 içeriği içeriklerinde farklı değerler göstermiştir. Bu durum farklı toprak tekstürünün toprakların elverişli P_2O_5 içerikleri üzerine etkilerinin farklı düzede olduğunu ortaya koymuştur (Görsel 3.2).

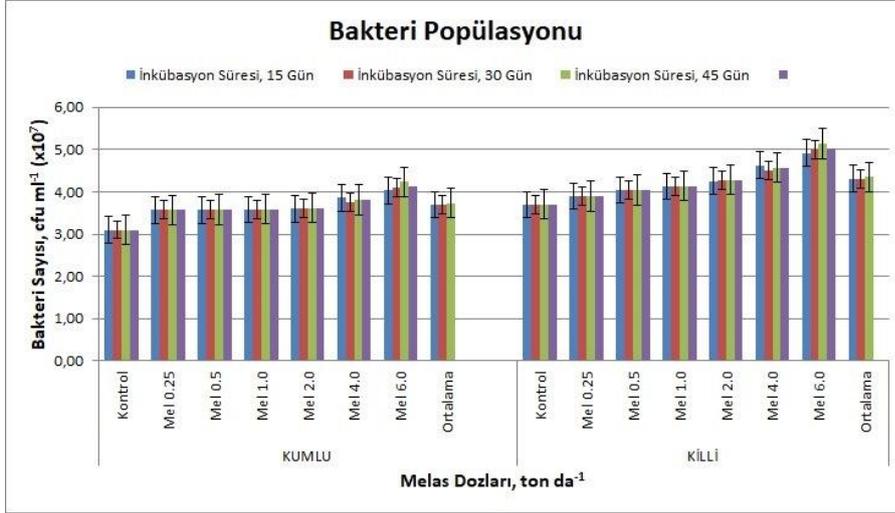
Melas; toplam şeker ve karbonhidratlar bakımından zengin, protein yönünden yetersiz ve fosfor bakımından fakirdir (Balıkçı ve Gürdoğan, 2002). Melasın doğrudan toprak fosfor içeriğini artırma kapasitesi sınırlıdır, ancak dolaylı yollarda biyoyararlılığı artırılabilir. Melasın topraklara uygulanması sonucu toprakta mikroorganizma aktiviteleri artmaktadır. Bu mikroorganizmalar, fosforun çözünmesini ve bitkiler tarafından alınabilir hale gelmesini kolaylaştıran fosforu çözen bakteriler de dahil olmak üzere, çeşitli mikroorganizmaları içerebilir. Bu nedenle, melasın eklenmesi topraktaki mevcut fosforun bitkilerin alabileceği formda olmasına yardımcı olmaktadır (Platt, 2024).

Bu çalışmamızda melas dozunun artışına bağlı olarak toprakların elverişli P_2O_5 içeriği kısmen artış göstermiştir. Artan elverişli P_2O_5 içeriği melas içerisinde bulunan fosfatlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Melas uygulaması sonucu toprakların elverişli P_2O_5 içeriğinin arttığını ifade eden çeşitli çalışmalar (Pyakurel et al., 2019; Dinesh et al., 2012; Platt, 2024) bizim sonuçlarımızla uyumludur

3.3. Melas Uygulamasının Toprakların Bakteri Popülasyonu Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda melas uygulamasının toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.3'de verilmiştir.

Görsel 3.3'e göre farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik arazisi ve Daphan ovası toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Toprakların bakteri popülasyonu melas dozunun artışına bağlı olarak Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarında artış göstermiştir.



Görsel 3.3. Farklı inkübasyon sürelerinde farklı dozlarda melas uygulamalarının toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkisi

Kontrole göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük bakteri popülasyonu melas uygulamasının M_{0,25} doz uygulamasının 15 günlük inkübasyonundan (3.57 ve 3.89 cfu ml⁻¹) elde edilmiştir. En yüksek bakteri popülasyonu melas uygulamasının M_{6,0} doz uygulamasının 45 günlük inkübasyonundan (4.23 ve 5.14 cfu ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.3).

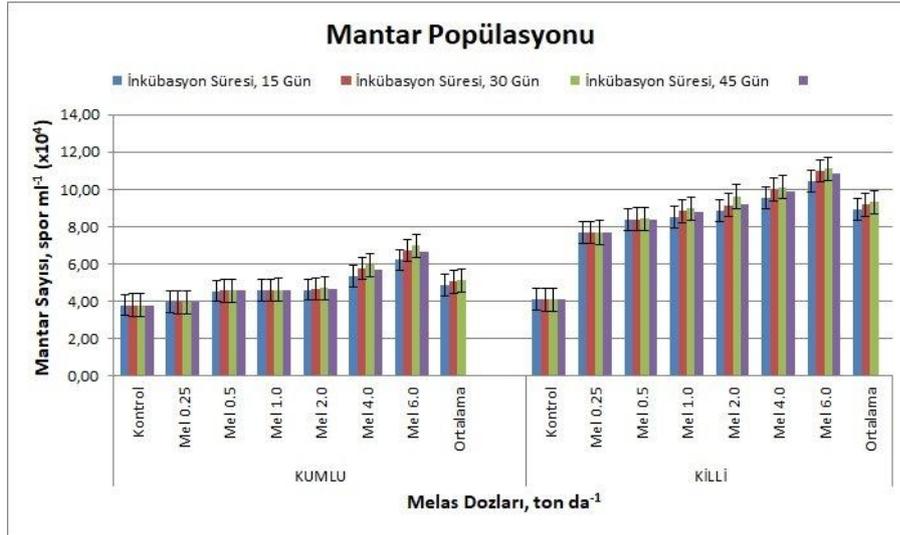
Toprakların bakteri popülasyonu inkübasyon sürelerinin artışına bağlı olarak artış göstermiş, bu artış istatistiksel olarak önemli (p<0.05) bulunmuştur. Melas uygulamasının bütün dozlarında en düşük bakteri popülasyonu 15 günlük inkübasyondan, en yüksek bakteri popülasyonu ise 45 günlük inkübasyonundan elde edilmiştir (Görsel 3.3).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında killi bünyeli Çiftlik arazisi topraklarında bakteri popülasyonu (3.70 cfu ml⁻¹) kumlu bünyeli Daphan ovası topraklarına göre (4.32 cfu ml⁻¹) daha yüksek bakteri popülasyonu göstermiştir. Farklı tekstürdeki topraklara uygulanan melas toprakların bakteri popülasyonu üzerinde etkili olmuş ve farklı değerler göstermiştir. Bu durum farklı toprak tekstürünün toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkilerinin farklı düzede olduğunu ortaya koymuştur (Görsel 3.3).

3.4. Melas Uygulamasının Toprakların Mantar Popülasyonu Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda melas uygulamasının toprakların ortalama mantar popülasyonu üzerine etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Görsel 3.4'de verilmiştir.

Görsel 3.4'e göre farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının mantar popülasyonu üzerine etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Toprakların mantar popülasyonu melas dozunun artışına bağlı olarak Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarında artış göstermiştir.



Görsel 3.4. Farklı inkübasyon sürelerinde farklı dozlarda melas uygulamalarının toprakların mantar popülasyonu üzerine etkisi

Kontrole göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük mantar popülasyonu melas uygulamasının M_{0,25} doz uygulamasın ve 15 günlük inkübasyon süresinden (% 0,0587, % 0,0471) elde edilmiştir. En yüksek mantar popülasyonu melas uygulamasının M_{4,0} doz uygulamasından ve 45 günlük inkübasyonundan (% 0,0710, % 0,0589) elde edilmiştir (Görsel 3.4).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında killi bünyeli Çiftlik serisi topraklarında mantar popülasyonu (5.016 spor ml⁻¹) kumlu bünyeli Daphan serisi topraklarına göre (9.130 spor ml⁻¹) daha yüksek mantar popülasyonu göstermiştir. Farklı tekstürdeki topraklara uygulanan melas toprakların mantar popülasyonu üzerinde etkili olmuş ve farklı değerler göstermiştir. Bu durum farklı toprak tekstürünün toprakların mantar popülasyonu üzerine etkilerinin farklı düzede olduğunu ortaya koymuştur (Görsel 3.4).

Melas, mikroorganizmalar için bir besin kaynağıdır. Topraklara melas uygulandığında toprakların bakteri ve mantar popülasyonunun artış gösterdiğine ilişkin çalışmalar fazlası ile mevcuttur. Deneme topraklarında bulunan bakteri ve mantar popülasyonun sayısındaki artış; melasın içerdiği besin elementleri ile bağlantılıdır. Zira melas içermiş olduğu karbonhidrat, azot ve diğer bileşikler sayesinde mikroorganizmaların besin ve enerji ihtiyacını karşılamış ve bakteri ve mantar popülasyonunun artışına sebep olmuştur. Mikroorganizmalar tarafından besin elementlerinin bitkiye elverişli forma dönüşmesi toprakta mikroorganizma popülasyonunun yüksek olması ile doğru orantılıdır (Crozat *et al.* 1982; Rupela *et al.* 1987).

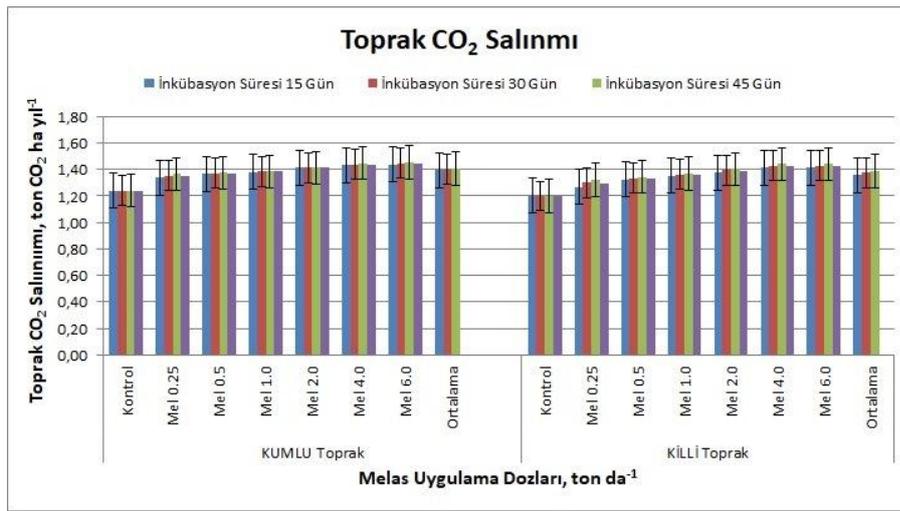
Melasın tarımda kullanımını sonucu bitki besin elementlerinin alımının ve toprak verimliliğinin ve buna bağlı olarak toprağın biyolojik aktivitesini uyardığı çalışmalarla belirlenmiştir (Samavat ve Samavat, 2014; Geremew Kassa *et al.*, 2024). Melas toprağa karbonhidrat sağlayarak C:N oranını değiştirmektedir, bu da toprak mikrobiyal ekolojisini etkilemekte ve bitki paraziti nematodlarını azaltmaktadır, böylece bitki büyümesi üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Schenck, 2001). Yapılan çalışmalarda toprakların iyi havalanması sonucu bakterilerin, mantarların, aktinomisetlerin ve diğer organik maddeyi oksitleyen mikroorganizmaların

popülasyonlarının arttığı ifade edilmektedir (Kızıloğlu, 1995). Melas uygulamasının toprak mikrobiyal aktivitesini artırdığı ve buna bağlı olarak toprak bakteri ve mantar içeriğinde olumlu etkiler sağladığı ifade edilmiştir (Waguespack et al., 2022). Bizim bulduğumuz sonuçlar da literatür çalışmaları ile uyumludur.

3.5. Melas Uygulamasının Toprakların CO₂ Salınımı Üzerine Etkileri

Farklı dozlarda melas uygulamasının toprakların ortalama CO₂ salınım miktarı üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.5'de verilmiştir.

Görsel 3.5'ye göre farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik ve Daphan bölgesi toprakların CO₂ salınım miktarı üzerine etkileri Duncan çoklu karşılaştırma testine göre p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Toprakların CO₂ salınım miktarı melas dozunun artışına bağlı olarak Çiftlik ve Daphan bölgesi topraklarında artış göstermiştir.



Görsel 3.5. Farklı inkübasyon sürelerinde farklı dozlarda melas uygulamalarının farklı inkübasyon sürelerinde toprakların CO₂ salınım miktarı üzerine etkisi

Kontrole göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük CO₂ salınım miktarı melas uygulamasının M_{0,25} doz uygulamasının 15 günlük inkübasyonundan (% 0.054, % 0,036) elde edilmiştir. En yüksek CO₂ salınım miktarı melas uygulamasının M_{4,0} doz uygulamasının 45 günlük doz uygulamasından (1.38 ton CO₂ ha yıl⁻¹, 1.35 ton CO₂ ha yıl⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.5).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında melas uygulaması sonucunda killi bünyeli Çiftlik arazisi topraklarında CO₂ salınımı (1.38 ton CO₂ ha yıl⁻¹) kumlu bünyeli Daphan ovası topraklarına göre (1.35 ton CO₂ ha yıl⁻¹) daha yüksek değer göstermiştir. Farklı tekstürdeki topraklara uygulanan melas toprakların CO₂ salınım miktarı üzerinde önemli etkide bulunmuş ve farklı değerler göstermiştir. Bu durum farklı toprak tekstürünün toprakların CO₂ salınım miktarı üzerine etkilerinin farklı düzede olduğunu ortaya koymuştur (Görsel 3.5).

Deneme topraklarına melas uygulaması ile toprakların CO₂ salınım değerleri artış göstermiştir. Toprağın yüzey tabakalarında mikrobiyal popülasyon en fazla bulunmaktadır. Profil derinliğine bağlı olarak mikrobiyal popülasyon azalma göstermektedir. Mikroorganizmalar genellikle bitki

kök bölgesinde aygın olarak bulunmaktadır. Bu sebeple kök bölgesinde CO₂ miktarı devamlı olarak artış gösterdiği ifade edilmektedir (Çolak 1995; Kızıloğlu 1995; Bilen et al., 2010;).

Toprağın drenajı ve sürülmesi durumunda toprak organik C'nu oksijen ile reaksiyona girerek oksitlenmeye sebep olur. Düşük toprak organik C toprakta enerji kaynaklarının azalmasına ve zayıf mikrobiyal kütleyle sebep olur. Eksilen toprak organik C'nu toprak biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açarak besin zinciri dengesinin bozarak toprak ekolojisini olumsuz etkilemektedir (Dura ve Ayar, 2024).

Toprakların C miktarı toprağın genel sağlığının bir göstergesidir. Toprak karbonu katyon değişimin, artırarak ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca kumlu toprakların su tutma kapasitesini çoğaltır ve karbonun agregatlara tutunmasını sağlayarak killi toprakların yapısal dengesini iyileştirmektedir (Dura ve Ayar, 2024).

Melas, geçmişte özellikle kumlu toprak ve zayıf yapılu toprakta gübre ve toprak iyileştirici olarak kullanılmıştır Toprak agregasyonu melas ilavesi ile iyileşmekte ve sert topraklarda yüzey kabuklanmasını azaltmaktadır (Wynne ve Meyer, 2002).

4. GENELE DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada farklı dozlarda melas uygulamalarının Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının toplam N, elverişli P₂O₅, ortalama bakteri ve mantar popülasyonu ve toprak CO₂ salınım miktarları üzerine etkileri önemli bulunmuştur.

Kontrolde göre Çiftlik arazisi ve Daphan ovası topraklarının en düşük toprak toplam N, elverişli P₂O₅, ortalama bakteri, mantar popülasyonu ve toprak CO₂ salınım miktarları melas uygulamasının M_{0,25} doz uygulamasından elde edilmiştir.

Optimum düzeyde toprak toplam N, elverişli P₂O₅, ortalama bakteri ve mantar popülasyonu ve toprak CO₂ salınım miktarları melas uygulamasının M_{4,0} doz uygulamasından elde edilmiştir.

Topraklara organik gübrelerle birlikte uygulanan melas konsantrasyonunun artırılması sonucunda temel organik gübrelerin oranının azaltılabileceği çalışmalarla ifade edilmektedir. Bu durumda toprakların nem, K, organik C ve C/N oranını artırılabilir. Özellikle yüksek organik C ihtiyacı olan topraklara melas ilavesi toprak kalitesini iyileştirmede bir çözüm olabilir (Nurhayati et al., 2021). Melas uygulaması ile büyük boyuta agregatların oluşumu artmakta ve yüksek azot içeriği sebebi ile mikrobiyal aktiviteyi ve agregatlaşmayı artırabilir (Yılmaz ve Alagöz, 2005).

Bilinçli olarak yapılan tarımsal faaliyetlerde topraklara C ve N kaynakları bakımından zengin melas gibi organik materyallerin uygulanması ile toprakların stabilitesi, sağlığı ve izlenebilirliğinin iyileştirebileceği belirtilmiştir (Neff et al., 2002; Dura ve Ayar, 2024). Melas gibi biyostimülanlar, toprağın mikrobiyal aktivitesini, verimliliğini ve dolayısıyla yetiştirilen bitkilerin sağlığını artırdığı (Mahmoud et al., 2020), özellikle organik madde bakımından zayıf topraklara uygun miktarda uygulanması ile mikroorganizmalar için temel elementlerin sağlandığı, sentetik, mineral bazlı gübrenin aksine biyokütleyi ve bitkilerin besin elementi alımını artırdığı ifade edilmiştir (Martínez-Alcántara, 2016).

Bu bilgiler ışığında

- Toprakların C ve N miktarının artırılması için melas gibi alternatif kaynakların topraklara uygulanmasının toprak verimliliğine fayda sağlayacağı,
- Topraklara melas uygulamasının toprakların biyolojik özellikleri üzerine olumlu katkılar sağlayacağı,
- Tarımsal faaliyetlerde topraklara organik atık olarak melasın kullanımının üretim maliyetlerin düşmesine katkı sağlayacağı,
- Topraklarda organik gübre ile birlikte melasın kullanımının toprak verimliliği ve bitkisel üretim açısından yararlı olacağı ve kimyasal gübre kullanımının azaltılması açısından atıkların değerlendirilmesine olumlu katkı sağlayacağı,
- Özellikle kumlu topraklara melas uygulamasının iyileştirici etkilerinin daha fazla olacağı ve toprakların mikrobiyal popülasyonuna, toplam N ve elverişli P₂O₅ içeriğine olumlu katkılar sağlayacağı,
- Topraklara gübreleme ile birlikte melas uygulamasının mikrobiyal aktiviteyi artırarak toprakların CO₂ salınımını artıracığı,
- Topraklara 4 ton da⁻¹ melas uygulamasının toprakların verimlilik özelliklerine olumlu katkı sağlayacağı sonuçlarına varılmıştır.

KAYNAKÇA

- Abo-Baker, A.A., Successive application impact of some organic amendments combined with acid producing bacteria on soil properties, NPK availability and uptake by some plants. *International Journal Of Current Micro-Biology and Appiled Sciences*, 2394-2413, 2017.
- Anderson, J.P.E., *Soil Respiration*, Soil Sampling and Methods of Analysis, Chapter 2, Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, pp: 838-845, 1982.
- Anonim., Doğal atıklar. Ekolojik Tarım Yöntemleri. Buğday, Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği. Haber No: 29. http://www.bugday.org/portal/haber_detay.php?hid=29, 26-Şubat-2004.
- Anonim., 2006a. Türkiye Yem Sanayicileri Birliği Melas Toplantısı. <http://turkiyeyembir.org.tr/v2/index.php?templateid=news&id=22>
- Anonymous, Growing Media for Greenhouse Production. Agricultural Extension Services. The University of Tennessee. PB1618. <http://www.utextension.utk.edu/publications/pbfiles/PB1618.pdf>, 2006b.
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H., Karaca, C., Kaçira, M., Ekinci, K., Baban, A., Kaya, D., Barnes, I., Komiotti, N. ve Nieminen,, M. *Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi*. Eğitim Programı Notları. pp: 15-25. Bursa, 2005.
- Balıkçı, E., Gürdoğan, F., Toklulara tek yönlü kaba yem kaynağı olarak yedirilen yas seker pancarı posasının bazı hematolojik ve biyokimyasal parametreler üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13 (1-2): 50-53, 2002.
- Barnes, A.C., *Agriculture of Sugarcane*. London: Leonard-Hill ltd. 1954.
- Bayraklı, F., *Toprak ve Bitki Analizleri*, 19 Mayıs Üniversitesi Yayınları, Yayın No:17, Samsun (Çeviri) Yazarlar: Ir.J.Ch.Van Schone Wenburg, Dr. Ir.V.J.G. Houba, Dr. Ir.I. Novolsonisky ve I. Walinga, 1987.
- Bilen, S; Celik, A; Altikat, S. Effects of strip and full-width tillage on soil carbon IV oxide-carbon (CO₂-C) fluxes and on bacterial and fungal populations in sunflower. *African Journal of Biotechnology*, 9(38): 6312-6319, 2010.
- Bilen, S., Effect of cement dust pollution on microbial properties and enzyme activities in cultivated and no-till soils. *African Journal of Microbiology Research* 4(22): 2418-2425, 2010.
- Crozat, Y., Marel, J.C.C., Girand, J.J., Obaton, M., Survival rates of R, japonicum populations introduced into different solis, *Soil Biology and Biochemistry*, 14: 401-405, 1982,
- Çıtak, S., Sönmez, S., Öktüren, F., *Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilme Olanakları*. Derim, [S.I.], s. 40-53, 2006.
- Çolak, A,K., *Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası*, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 98, Adana, 1995,
- Dahal, B.R., Bhandari, S., Biofertilizer: A next generation fertilizer for sustainable rice production. *International Journal of Graduate Research and Review*, 5 (1):1-5, 2019.
- Demiral, Y.F., *Doğal ve Modifiye Edilmiş Seker Pancarı Küspesi ve Pülpü Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Cr(VI) İyonlarının Uzaklaştırılması*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- Demiralay, İ., *Toprak Fiziksel Analizleri*, Atatürk Üniv, Ziraat Fak, Yay, No:143, Erzurum, 1993,
- Dhakal, M., 2018. The Rising Nepal. Retrieved from The Rising Nepal: <http://therisingnepal.org.np/news/24837>
- Dinesh, R., Srinivasan, V., Ganeshamuthry, A.N., Hamza, S., *Effect of organic fertilisers on biological parameters influencing soil quality and productivity*, in Organic fertilisers

- types, production and environmental impact (New York: Nova Science Publisher, Inc) pp 23–46, 2012
- Dura, S., Ayar, F., Toprak Organik Karbonunun Korunması ve Karbon Ayak İzine Katkıları. Tarım Gündem Dergisi, 20.02.2024. <https://orbibarobotics.com/blogdetayi/toprak-sagligi-ve-karbon-iliskisi/>, 2024.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America-Madison, Wisconsin, USA, p: 383-409, 1986.
- Geremew Kassa, M., Asemu, A.M., Belachew, M.T., Satheesh, N., Abera, B.D., Alemu Teferi, D., Review on the application, health usage, and negative effects of molasses. CyTA, Journal of Food, 22(1). <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2321984>, 2024.
- Germida, J.J., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 27 Cultural Methods for Soil Microorganisms, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, USA, p:263-275, 1993.
- Goh, T.B., Arnaud, R.J.St., Mermut, R., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 20 Carbonates, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, USA, p:177-185, 1993.
- Handershot, W.H., Lalande, H., Duquette, M., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 16 Soil Reaction and Exchangeable Acidity, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, USA, p:141-145, 1993.
- Jackson, M.L., *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall of India Private Limt. NewDelhi, 1967.
- Kacar, B., *Bitki, Toprak ve Gübre Analizleri 2*, Kolay Uygulanabilir Bitki Analizleri. Nobel Akademik Yayıncılık, Yayın No:910, Ankara, 2014.
- Kasap, Y., Melasın Toprağın Fiziksel Özellikleri ve Bitki Gelişimine Etkisi. Ziraat Mühendisliği Dergisi Sayı: 247: 21-24, 1991.
- Kızıloğlu, F.T., *Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yay, No:180, Erzurum, Erzurum, 1995.
- Kızıloğlu, F.T., Bilen, S., *Toprak Mikrobiyolojisi Laboratuvar Uygulamaları*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:193, Erzurum, 1997.
- Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., *Lithium, sodium and potassium*, Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America-Madison, Wisconsin, USA, 225-245, 1982.
- Kurt, Z., *Organik Gübrelerin Toprakların Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri*. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Tez No: 614328, 2019.
- Li, S., Zhao, X., Ye, X., Zhang, L., Shi, L., Xu, F., Ding, G., The effects of condensed molasses soluble on the growth and development of rapeseed through seed germination, hydroponics and field trials. Agriculture (Switzerland) 10(7), 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10070260>, 2020.
- Mahmoud, S.H., El-Tanahy, A.M.M., Fawzy, Z.F., The Effects of Exogenous Application of some Bio Stimulant Substances on Growth, Physical Parameters and Endogenous Components of Onion Plants. International Journal of Agriculture and Earth Science, 6, No. 2, 2020.
- Martínez-Alcántara, B., Martínez-Cuenca, M.R., Bermejo, A., Legaz, F., Quiñones, A., Liquid Organic Fertilizers for Sustainable Agriculture: Nutrient Uptake of Organic versus Mineral Fertilizers in Citrus Trees. PLOS ONE, 11, e0161619, 2016.
- Mc Gill, W.B., Figueiredo, C.T., *Total nitrogen*, Chapter 22, Soil Sampling and Methods of Analysis, Edited by: Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Sci, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 201-211, 1993.

- Mc Lean, E.O., *Soil pH and Lime Requirement*. In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition (Ed: A.L. Page). Wisconsin, USA, 1982.
- MEB., Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Uygulama Föyü, Gıdalarda Şeker Tayini, Ankara, 2011.
- Mertens, D., *AOAC Official Method, Metal in Plants and Pet Foods*, Official Methods of Analysis, 18th edn, Horwitz, W., and G.W. Latimer, (Eds), Chapter 3, pp 3-4, AOAC-International Suite 500, 481, North Frederick Avenue, Gaithersburg, Maryland 20877-2417, USA, 2005.
- Neff, J., Townsend, A., Gleixner, G., Variable Effects of Nitrogen Additions on the Stability and Turnover of Soil Carbon. *Nature*, 419, 915-917, <https://doi.org/10.1038/nature01136>, 2002.
- Nurhayati1, W.C. Kusumawati, R., Basmal, J., Effect of molasses on the chemical characteristics of seaweedbased organic fertiliser. International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 733 (2021) 012110. IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1315/733/1/012110, 2021.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., *Phosphorus*, Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Sci. Society of Amerika-Madison, Wisconsin, USA, 403-427, 1982.
- Platt, A., *A Sweet Surprise: Fermented Molasses in Farming*. ADMIN, January 25, 2024. BLOG, <https://zylemsa.co.za/blog/a-sweet-surprise-fermented-molasses-in-farming/>, 2024.
- Pyakurel, A., Raj Dahal, B., Rijal, S., Effect of Molasses and Organic Fertilizer in Soil fertility and Yield of Spinach in Khotang, Nepal. International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 7(1): 49-53, DOI:10.3126/ijasbt.v7i1.23301, 2019.
- Rhoades, J.D., *Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America-Madison, Wisconsin, USA, p: 149-157, 1982.
- Rouillard, G., *Annual report 1954*. Mauritius: Mauritius Sugar Industry, 1954.
- Rupela, O.P., Teomsan, B., Mittal, S., Dart, P.J., Thompson, J.A., Chickpea Rhizobium populations, Surveys of influence of season, soil dept ad cropping pattern, *Soil Biol Biochem*, 19 (3), 247-252, 1987.
- Samavat, S., Samavat, S., Effects of fulvic acid and sugarcane molasses on yield and qualities of tomato. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 8 (3): 266-268, 2014.
- Sanli, A., Karadogan, T., Tosun, B., The effects of sugar beet molasses application on root yield and sugar content of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 24 (2):103-108, 2015.
- Schenck, S., *Molasses Soil Amendment for Crop Improvements and Nematode Management*. Hawaii: Hawaii Agriculture Research centre, 2001.
- Srivastava, P.C., Singh, R.K., Srivastava, P., Shrivastava, M., Utilization of molasses-based distillery effluent for fertigation of sugarcane. *Biodegradation* 23(6): 897-905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10532-012-9582-5>, 2012.
- Tiessen, H., Moir, J.O., *Total organic carbon*, Chapter 21, Soil Sampling and Methods of Analysis, Edited by: Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 187-199, 1993.
- Waguespack, E., Bush, E., Fontenot, K. The effect of organic biostimulants on beneficial soil microorganism activity. *Open Journal of Ecology* 12(08), 499-512. DOI: <https://doi.org/10.4236/oje.2022.128027>, 2022.

- Wynne, A.T., Meyer, J.H.,. *An Economic Assessment Of Using Molasses And Condensed Molasses Solids As a Fertilizer In South African Sugar Industry*. Mount Edgecombo: South African Sugar Association Experiment Station, 2002
- Yaldız, O., *Çiftlik Gübrelerinin Tarımda Kullanımı ve Çevre Sorunu*. II. Ulusal Gübre Kongresi Ankara, 1991.
- Yetgin, M.A., *Organik Gübreler ve Önemi*. T.C. Samsun Valiliği, İl Tarım Müdürlüğü. Samsun İl Tarım Müdürlüğü, Çiftçi Eğitimi ve Yayım Şubesi Yayını. Samsun / Nisan 2010.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z.,. Organik materyal uygulamasının toprağın agregat oluşum ve stabilitesi üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(1), 131-138, 2005
- Yi, P.H., Jung, D.H., Selvakumar, G., Lee, S.E., Han, S.G., Lee, I.B., Analysis of soil nutrient balance and enzymatic activity and growth characteristics of red pepper under protected cultivation using organic liquid fertilizer based on condensed molasses soluble. Horticultural Science and Technology 38(5), 730–741, 2020.
- Yurtsever, N., *Deneyisel İstatistik Metotlar*. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara, 1984.

BUĞDAY YETİŞTİRİLEN TARIM ALANLARINDA ANIZ YAKMANIN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Öğr. İsmail DENİZÖĞLU
Atatürk Üniversitesi, ismail.denizoglu@ogr.atauni.edu.tr –
ORCID ID: 0000-0001-7764-6254

Prof. Dr. Serdar BİLEN
Atatürk Üniversitesi, sbilen@atauni.edu.tr –
ORCID ID: 0000-0003-0516-1893

ÖZET

Son yıllarda tarım topraklarının üretim kapasitesini artırmak ve verimlilik seviyesini yükseltmek için bazı bölgelerde çiftçiler anız yakma işlemi uygulamaktadırlar. Çevreye ve toprağın yapısına olumsuz etkilerinden dolayı anızın yakılması hiçbir zaman tavsiye edilmemektedir.

Bu çalışmanın amacı; buğday tarımının yapıldığı farklı tekstürdeki topraklarda anız yakılan ve yakılmayan parsellerde ortaya çıkan besin element kayıpları, mikroorganizma popülasyonu ve CO₂ salınım miktarları üzerine etkilerini belirlemektir. Deneme, Hatay ili Samandağ ilçesinde buğday yetiştirilen killi ve kumlu tekstürdeki 3.0x3.0 m boyutlarındaki parsellerde 3 tekerrürlü tesadüf parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Parsellerin iki tanesi (yakılan ve yakılmayan) kontrol amaçlıdır sadece sürüm yapılmış, Kontrollü olarak anız yakılan ve yakılmayan parsellerde geleneksel yöntemlerle kışlık ekmeleklik buğday ekilmiş, ekim, gübreleme, ilaçlama, sulama uygulanmış ve ekimden 30, 60, 90 ve 120 gün sonra toprak örneklerinde bazı biyolojik analizleri yapılarak kontrol toprağı ile karşılaştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre; anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip topraklarda toplam N, organik madde, elverişli P₂O₅, bakteri, mantar popülasyonu ve CO₂ salınımı değerleri istatistiksel olarak önemli (p<0.05) farklılık göstermiştir. Anız yakılan parsellerde bu değerler anız yakılmayan parsellere göre daha düşük değerler göstermiştir. Anız yakılan ve yakılmayan tarım topraklarının organik madde, toplam N, mikroorganizma popülasyonu ve CO₂ salınım miktarı üzerine inkübasyon süresinin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Çalışma göstermiştir ki; anız yakılan tarım alanlarında önemli derecede organik madde, azot, mikrobiyal popülasyonun düşmüş ve CO₂ salınımı azalmış, bu durum anız yakmanın küresel ısınmaya önemli bir katkısının olacağı kanısını doğurmuştur. Anız yakmanın mümkün olduğu kadar en aza indirilmesi ve hatta uygulanmaması tarımsal üretime ve toprak verimliliğine önemli katkılar sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler— Anız yakma, Buğday bitkisi, toprak azot içeriği, elverişli P₂O₅ içeriği, CO₂ salınımı, bakteri popülasyonu, mantar popülasyonu.

EFFECTS of STUBBLE BURNING on BIOLOGICAL PROPERTIES of SOILS in WHEAT GROWING AGRICULTURAL AREAS

ABSTRACT

In recent years, farmers in some regions have been using stubble burning to increase the production capacity and productivity of agricultural land. Due to its negative impacts on the environment and soil structure, stubble burning is never recommended.

The aim of this study was to determine the effects of stubble burning and unburned plots on nutrient losses, microorganism populations, and CO₂ emissions in wheat-grown plots of varying textures. The experiment was conducted using a randomized plot design with three replicates in 3.0x3.0 m plots with clayey and sandy textures, where wheat is grown, in the Samandağ district of Hatay province. Two of the plots (burned and unburned) were used as controls; only plowing was performed. Winter bread wheat was planted using conventional methods in the controlled stubble-burned and unburned plots. Planting, fertilization, pesticide application, and irrigation were applied. Biological analyses were performed on soil samples 30, 60, 90, and 120 days after planting to compare them with the control soil.

According to the research results, total N, organic matter, available P₂O₅, bacterial and fungal populations, and CO₂ emissions were statistically significantly ($p < 0.05$) different in stubble-burned and unburned soils with different textures. These values were lower in stubble-burned plots than in unburned plots. The effect of incubation time on organic matter, total N, microorganism populations, and CO₂ emissions in stubble-burned and unburned agricultural soils was not found to be statistically significant.

The study showed that; In agricultural areas where stubble was burned, organic matter, nitrogen, and microbial populations decreased significantly, and CO₂ emissions decreased. This led to the belief that stubble burning would significantly contribute to global warming. It has been concluded that minimizing stubble burning, or even eliminating it, would significantly contribute to agricultural production and soil fertility.

Keywords- Stubble burning, Wheat plant, soil nitrogen content, available P₂O₅ content, CO₂ release, bacterial population, fungal population.

1. GİRİŞ

Tarım arazilerinin kabiliyet sınıflarına uygun kullanmamak, ürün deseni yapmamak, yanlış gübreleme yapmak, uygun olmayan toprak işleme sitemlerini uygulamak, organik maddeyi muhafaza edememek ve anız yakmak gibi yanlış ve bilinçsiz uygulamalar toprakların verim kabiliyetlerini düşürmektedir. Tarımsal üretimde birim alandan elde edilen ürün miktarının artması sonucu toplam sap ve saman miktarı da artmaktadır, bunun sonucu olarak artan sap ve samanın değerlendirme alanı daralmıştır. Gelişmiş ülkelerde artan anız miktarı önemli bir problem haline gelmiş ve çözüm olarak da anız artıklarının yakılması yoluna gidilmiştir (Sayılı ve Akman, 1994).

Genellikle anız yakma işlemi, anızı işleyecek uygun aletlerin olmaması, anızlı toprak işlemede ekim sırasında makinelerinin ayaklarının tıkanması ve anız yakmanın toprak işleme kolaylaştırması sebepleri yüzünden çiftçiler tarafından tercih edilmektedir (Yılmaz et al., 2014). Anız yakma ile toprakta bulunan organizmalar ve toprak ekolojisi zarar görmekte ve uzun vadede toprak verimliliğini olumsuz etkilemektedir (Erdal ve ark., 2016).

1980'li yıllarda çiftçilere anız yakmanın teşvik edilmesi yönündeki programlar sonrası çiftçiler hasat sonrası bitki kalıntılarını yakarak yok etmek yoluna gitmişlerdir. Ancak; son yıllarda anız yakmanın zararları daha iyi anlaşılmış, toprak ekolojisine ve çevresel sorunlara sebep olması sebebi ile bazı önlemler alınmaya çalışılmıştır. Anız yakma sonucu toprakta bulunan ve canlılar için besin kaynağı olan organik madde de yanma sonucu yok olmaktadır. Toprakta kaybolan organik madde toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Zamanla topraktaki organik maddenin azalma göstermesi durumunda çevre açısından olumsuz durumlarında ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. (Coşkan ve ark., 2006).

Anız yakma toprağın kalitesi ve verimliliği üzerinde olumsuz rol oynamaktadır. Anız sapının istenmediği ve ekonomik olarak kullanılmadığı koşullarda çiftçiler, yabancı otların yok edilmesi, salyangoz, örümcek, kurt ve kenelerin yaprak lekesi, sap ve kök çürüğü erken fide yanıkları ve solgunluk gibi hastalıkların azaltılması, toprak işlemede kolaylık sağlanması, enerjiden tasarruf sağlanması, ikinci ürün yetiştirmede zaman tasarrufu, ekonomik ve daha yüksek verim beklentisi amaçlarıyla anız yakma yoluna gitmektedirler (Coşkan ve ark., 2006; Çiçekler, 2012; Silme ve ark., 2015).

Hayvancılığın yaygın olduğu bölgelerde, anız hayvanlar tarafından otlatılmaktadır. Bu durumda eğer toprağın nem içeriği uygun olan sınır değerlerde değilse, topraklarda sıkışma meydana gelmekte özellikle kumlu topraklarda rüzgâr ve su erozyonu görülmektedir (Gürsoy, 2012). Toprak yüzeyinin bitki artıkları ile kaplı olması yağmur damlalarının direk etkisini azaltmakta ve toprağın erozyonla kaybına engel olmaktadır. Birinci derecede erozyon kuşağı içinde bulunan ülkemiz toprakları, anız yakma sonucunda erozyondan çok fazla etkilenmektedir. (Karave Sezer, 1992). Canlılık özelliğine sahip topraklarda anız yakılmasıyla, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri değişmekte, toprak organik maddece fakirleşmekte ve çevre kirlenmesi problemleri ortaya çıkmaktadır. Azalan ve yok olan organik madde sonrasında topraklar erozyona maruz kalıp yok olmaktadır. Anızın yakılması aynı zamanda toprak erozyonunu teşvik etmekte ve toprağın nem ve sıcaklık değerlerini etkilemektedir. İstatistiklere göre, Türkiye'de arazilerin % 63'ü çok şiddetli ve şiddetli

erozyona maruz kalmaktadır. (Tema, 2016; Akman, 2016).

Anız; toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve üretiminin sürdürülebilirliği ile bağlantılı olan organik maddenin bir fonksiyonudur. Mahsul artıkları (saman, anız ve kökler), toprak mikroorganizmaları ve bitkileri için toprak organik maddesi ve besin kaynağıdır. Anız yakmak toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozmakta ve çıkan duman havayı kirleterek toprağın 5-10 cm derinliğinde bulunan mikroorganizmaların yaklaşık % 70'ine zarar vermektedir (Savcı ve Bağdatlı, 2016). Anız yakma sonucunda ortaya çıkan karbon toprakta azot eksikliğine sebep olmakta ve toprağa daha fazla miktarda azot ilavesi gerektirmekte, bunun sonucunda suların kirlenme düzeyleri daha da artmaktadır (Traş, 2008).

Anızın yakılması ile toprağa dönen organik madde miktarının çok azalmaktadır (Sirat ve ark., 2012). Anız yakma sonucunda toprakta bulunan C ve N kaybı artmaktadır. Dolayısıyla toprakların verimliliğinin artırılması için daha fazla gübre verilmeli ve bu da topraklarda su kayıplarına neden olur, topraklar çoraklaşır, verimlilikleri düşer ve ekonomik olarak girdilerin artmasına sebep olur (Savcı ve Bağdatlı, 2016; Temel, 2022). Ülkemizde, tarım yapılan arazilerin %76'sında organik madde içeriği % 1'den az veya % 1-2 civarındadır (Özbek ve ark. 1974). Anızı yakılan bir toprağın kaybolan organik maddesinin ilavesine ihtiyaç duyulmaktadır. Topraklarda organik maddenin artırılması için yeterli oranlarda çiftlik gübresi kullanılmalı, anız yakmanın önüne geçilmeli ve yeterli oranlarda sulama yapılmalıdır. Organik maddece düşük olan toprakların fiziksel yapısı da bozulmaktadır. Toprakların fiziksel yapılarının düzelmesi için yanmış ahır gübresi ve kompost ilae edilmeli, ekim öncesi sürümle birlikte tabana katı hümik asit ilavesi ile veya damlama ve yağmurlama suları ile birlikte sıvı hümik asit uygulanmalıdır (Zengin ve Gezgin, 2013).

Anız yakmanın toprak verimliliğine olan olumsuz etkileri yanı sıra çevre ve su kirliliği üzerine de olumsuz etkileri mevcuttur. Anız yakılması neticesinde azalan organik madde toprakta bulunan canlıların yok olmasına toprak verimliliğinin azalmasına, biyolojik dengenin ve toprak ekolojisinin bozulmasına sebep olmaktadır (Sirat ve ark., 2012).

Bu tez çalışmasının amacı; farklı tekstüre (kumlu ve killi bünyeli) sahip buğday yetiştirilen topraklarda anız yakmanın toprakların bazı kimyasal (organik madde, toplam azot ve elverişli fosfor) ve biyolojik (bakteri ve mantar popülasyonu, bazal respirasyon) özellikleri üzerine etkilerini araştırmaktır.

2. DENESEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Deneme Doğu Akdeniz bölgesi Hatay ili Kırıkhan ilçesi Çorum mahallesinde farklı tekstüre sahip (kumlu ve killi) buğday tarımının yapıldığı tarım alanlarında kontrolü olarak anız yakılan ve yakılmayan parsellerde yürütülmüştür.

Proje çalışmasında 2013 tarihinde Türkiye Milli Çeşit Listesinde yer alan Karahan-99 kışlık ekmeklik buğday çeşidi kullanılmıştır. Yörede yaygın olarak kullanılan buğday tohumları çiftçilerden temin edilmiştir. Deneme alanında buğday ekimi ve taban gübresi uygulanan anız yakılmış ve yakılmamış parsellerde buğday yetiştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Parsel Hazırlığı, Tohum Ekimi ve Gübreleme

Deneme parselleri bir önceki yılda m²'ye 300 adet kışlık ekmeklik buğday tohumu atılarak ekimi yapılmış, hasadı edilmiş ve anız olarak toprakta bırakılmış parseller üzerinde yürütülmüştür. Buğday bitkisi yetiştirilen tarım toprakları anız yakılmış ve anız yakılmamış parsellere ayrılmış, Ekim ayı öncesi farklı tekstürdeki (kumlu ve killi) parsellere anız yakılmadan ve anız yakıldıktan sonra aynı tarihte yeniden kışlık ekmeklik buğday ekimi yapılmıştır. Deneme alanının toprak sıcaklığı 8-10 °C olduğu Ekim ayında topraklar kazayağı + tırmık takımıyla üçleme yapıp tohum yatağı hazırlanmıştır. Toprak işleme derinliği 4-6 cm olarak uygulandı. Dekara 20-25 kg tohum hesabı ile parsellere tohum ekimi yapılmıştır. Toprak analiz sonuçlarına göre ekimle birlikte dekara 15 kg azot içeren Üre ve 15 kg fosfor içeren Diamonyum fosfat (DAP) gübresi verilmiştir.

Toprak Analizleri:

İnkübasyon sonrası topraklarda toprak reaksiyonu pH metre ile (Handershot *et al.* 1993), kireç içeriği Scheibler Kalsimetresi ile volümetrik olarak (Goh *et al.* 1993), organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle (Tiessen and Moir 1993), katyon değişim kapasitesi Na asetat (1 N, pH=8.2) – NH₄ asetat (1 N, pH=7.0) ekstraksiyonu ile AA spektrofotometresinde okunarak (Rhoades, 1982), değişebilir katyonlar NH₄ asetat (1 N, pH=7.0) ekstraksiyonu ile AA spektrofotometresinde okunarak (Knudsen *et al.* 1982), elverişli fosfor molibdofosforik mavi renk yöntemine ile spektrofotometrede okunarak (Olsen and Sommers 1982), toplam azot Kjeldahl yöntemiyle (Mc Gill and Figueiredo 1993), elektiriksel iletkenlik saturasyon macunlarının ekstraksiyon çözeltilerinde EC aleti ile okunarak (Demiralay 1993), toprak tekstürü Bouyoucos Hidrometre yöntemiyle, tekstür sınıfı ise tekstür üçgeni ile (Gee and Bauder 1986) belirlenmiştir.

Biyolojik Analizler

Toprakların bakteri ve mantar sayısı; dilüsyon metoduna göre, 10⁻⁵, 10⁻⁶, 10⁻⁷ dilüsyon çözeltilerinde bakteriler için Nutrient Agar (NA) besiyerinde, mantar için Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerinde, 28°C'de 3-5 gün inkübasyon sonrası petri kutularının arkasından koloni sayımı yapılarak (Germida 1993; Kızıloğlu ve Bilen 1997), toprakların CO₂ salınım miktarı (Bazal respirasyon) Toprak örneğinden açığa çıkan CO₂ gazının NaOH içerisinde biriktirilmesi,

NaHCO₃'ün oluşturulması ve BaCl ilavesinden sonra BaCO₃'ün çökmesi sonucu H₂SO₄ ve CO₂ ile doymayan NaOH miktarının titrasyonu ile (Anderson 1982; Kızıloğlu ve Bilen 1997) belirlenmiştir.

2.3. Deneme Planı ve İstatistiksel Analiz Yöntemi

Farklı tektürlere sahip 3.0 x 3.0 boyutlarında parsellerde buğday bitkisi yetiştirilmiş, ekimden 30, 60, 90 ve 120 gün sonra toprak örnekleri alınmış ve analizler yapılmıştır. Deneme üç tekerrürlü olarak tam şansa bağlı tesadüf parselleri deneme desenine göre düzenlenmiştir. Bu durumda deneme planı;

2 farklı tektürde tarım toprağı x 2 farklı anız uygulaması (anız yakılan ve yakılmayan) x 3 tekerrür olmak üzere toplam 12 parselde yürütülmüştür.

Denemede SPSS 17.0 istatistik paket programı ile varyans (ANOVA) analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile ortalamalar arasındaki farklılıklar belirlenmiştir (Yurtsever 1984).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Deneme alanından 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri üzerinde yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan Hatay ili Kırıkhan ilçesi topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

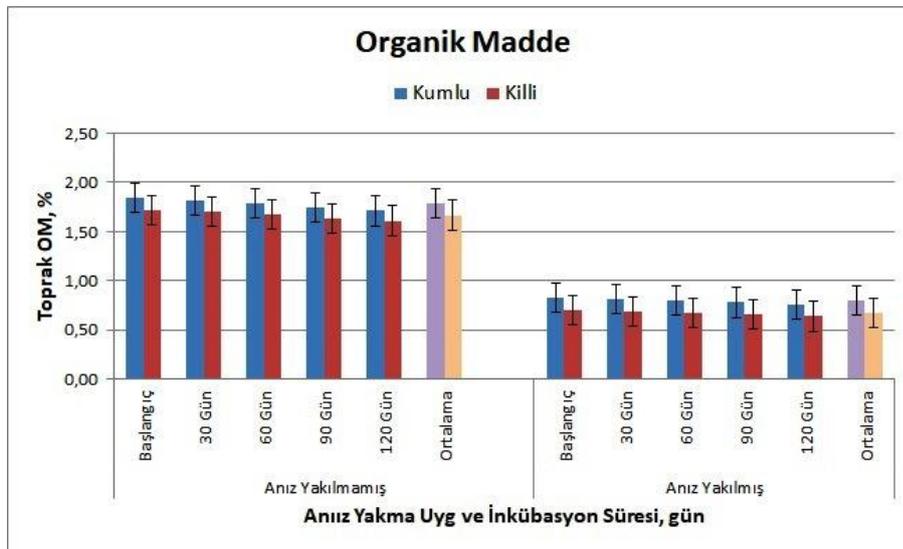
| Özellik | Kumlu Toprak | Killi Toprak | Yeterlilik | |
|---|------------------|--------------|--------------|-------|
| pH, 1:2.5 toprak:su | 7.03 | 7.58 | Hafif alkali | |
| Organik madde, % | 1.84 | 1.14 | Az | |
| Kireç, CaCO ₃ , % | 1.42 | 1.72 | Kireçli | |
| Toplam N, % | 0.048 | 0.046 | Çok az | |
| Elverişli P ₂ O ₅ kg da ⁻¹ | 11.61 | 6.45 | Orta / Fazla | |
| Değişebilir Katyonlar (me 100 g ⁻¹) | Ca ⁺² | 22.14 | 15.25 | Fazla |
| | Mg ⁺² | 9.63 | 8.76 | Azla |
| | K ⁺¹ | 3.48 | 4.52 | Az |
| | Na ⁺¹ | 0.17 | 0.19 | Az |
| Mikroelementler, ppm | Fe ⁺² | 22.32 | 24.62 | - |
| | Cu ⁺² | 5.49 | 6.35 | - |
| | Zn ⁺² | 1.36 | 1.79 | - |
| | Mn ⁺² | 12.52 | 8.16 | - |
| K.D.K., me 100 g ⁻¹ | 36.14 | 30.35 | - | |
| Elektriki İletkenlik, dS m ⁻¹ | 1.73 | 1.23 | Tuzsuz | |
| Toplam Tuz, % | 0.086 | 0.077 | Tuzsuz | |
| Tane büyüklük dağılımı | Kum, % | 56.2 | 24.3 | |
| | Silt, % | 23.5 | 26.5 | |
| | Kil, % | 20.3 | 49.2 | |
| Tekstür Sınıfı | KUMLU | KİLLİ | | |

| | | | |
|--|----------------------|----------------------|---|
| Total bakteri koloni sayısı, cfu ml ⁻¹ | 4.25x10 ⁷ | 5.24x10 ⁷ | - |
| Total mantar spor sayısı, spor ml ⁻¹ | 2.12x10 ⁵ | 2.56x10 ⁵ | - |
| CO ₂ salınımı, ton CO ₂ ha yıl ⁻¹ | 1.24 | 1.20 | - |

3.1. Anız Yakmanın Toprakların Organik Madde Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde anız yakmanın toprakların organik madde içeriği üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.1'de verilmiştir.

Görsel 3.1.'e göre; anız yakılan ve yakılmayan parsellerde toprakların organik madde içerikleri kumlu ve killi topraklarda farklı değerler göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kumlu tekstüre sahip topraklarda organik madde miktarı killi topraklara göre yüksek değer göstermiştir.



Görsel 3.1. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların organik madde içerikleri üzerine etkileri.

Kumlu tekstüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toprak organik madde içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (% 1.843, % 0.830), en düşük toprak organik madde içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (% 1.710, % 0.760) elde edilmiştir (Görsel 3.1).

Killi tekstüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toprak organik madde içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (% 1.720, % 0.700), en düşük toprak organik madde içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (%1.610, % 0.640) elde edilmiştir (Görsel 3.1).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama organik madde içeriği % 1.782, killi bünyeli topraklarda % 1.666 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda ortalama organik madde içerikleri % 0.796, killi bünyeli topraklarda % 0.672 olarak belirlenmiştir (Görsel 3.1).

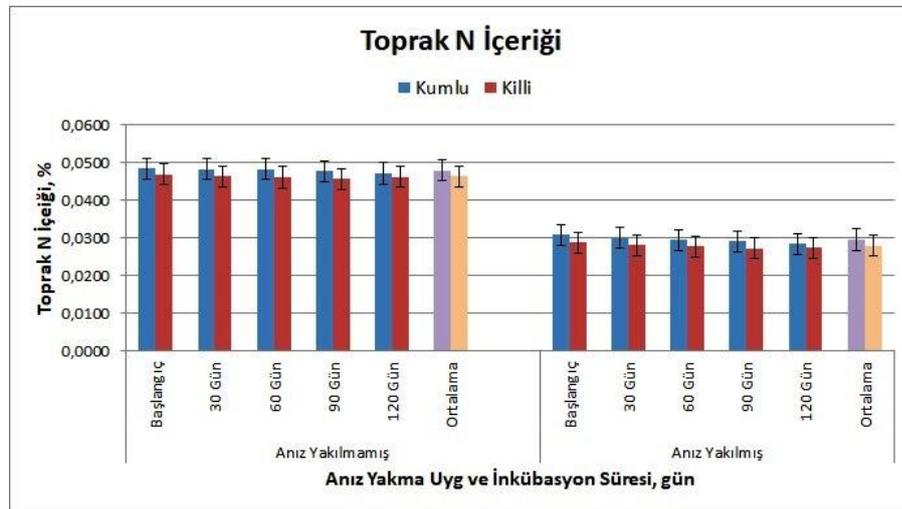
İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların organik madde içerikleri inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, ancak azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Anız yakılmayan ve anız yakılan topraklarda en yüksek ortalama organik madde miktarı başlangıç (0 gün) aşamasından (% 1.781, % 0.765) ve en düşük ortalama organik madde miktarı 120 gün uygulamasından (% 1.660, % 0.700) elde edilmiştir (Görsel 3.1).

Çalışma sonuçlarımıza göre anız yakılmayan parsellerde toprak organik madde miktarının yüksek belirlenmiş ancak; anız yakılan parsellerde organik madde miktarı yaklaşık % 50 oranında düşük değer göstermiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda da anız yakmanın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozduğu (Savcı ve Bağdatlı, 2016), anız yakma sonucunda ortaya çıkan karbonun toprakta azot eksikliğine sebep olarak toprağa daha fazla miktarda azot ilavesi gerektirdiği sonucuna varılmıştır (Traş, 2008). Aynı şekilde anızın yakılmasının bir sonucu da toprağa dönen organik madde miktarının çok azaldığı, (Sirat ve ark., 2012), anız yakma sonucunda toprakta bulunan karbon (C) ve azot (N) kaybı olduğu ve toprakların verimliliğinin artırılması için daha fazla gübre verilmesi gerektiği çalışmalarla ifade edilmektedir (Savcı ve Bağdatlı, 2016; Temel, 2022). Anız yakma ile toprakta bulunan organizmalar ve toprak ekolojisi zarar görmekte ve uzun vadede toprak verimliliğini olumsuz etkilemektedir (Erdal ve ark., 2016). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir.

3.2. Anız Yakmanın Toprakların Toplam N İçeriği Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde anız yakmanın toprakların toplam N içeriği üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.2'de verilmiştir.

Görsel 3.2.'e göre; anız yakılan ve yakılmayan parsellerde toprakların toplam N içerikleri kumlu ve killi topraklarda farklı değerler göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Kumlu tekstüre sahip topraklarda azot miktarı killi topraklara göre yüksek değer göstermiştir.



Görsel 3.2. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların toplam N içerikleri üzerine etkileri.

Kumlu tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toplam N içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin Başlangıç (0 gün) aşamasından (% 0.0484, % 0.0307), en düşük toplam N içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (% 0.0471, % 0.0282) elde edilmiştir (Görsel 3.2).

Killi tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toplam N içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin Başlangıç (0 gün) aşamasından (% 0.0468, % 0.0462), en düşük toplam N madde içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (% 0.0287, % 0.0272) elde edilmiştir (Görsel 3.2).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama toplam N içeriği % 0.0479 ve killi bünyeli topraklarda % 0.0462 olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda ortalama toplam N içerikleri % 0.0294 ve killi bünyeli topraklarda % 0.0277 olarak belirlenmiştir (Görsel 3.2).

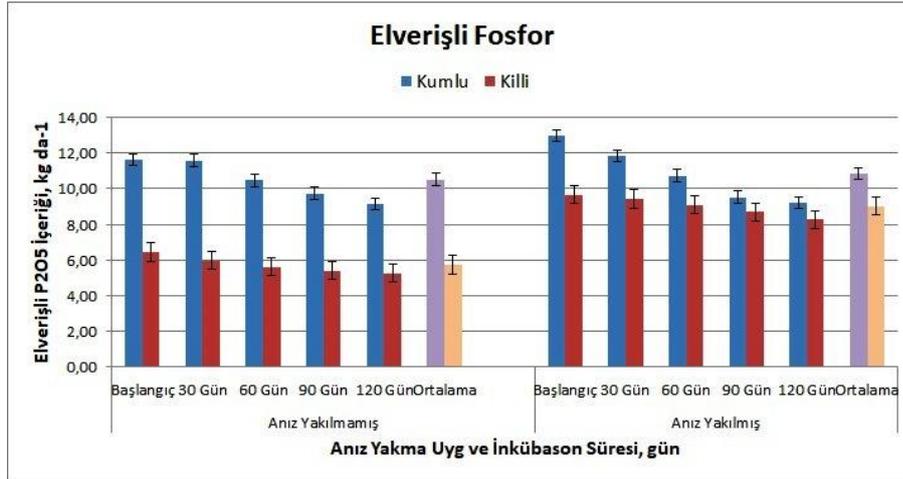
İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların organik madde içerikleri inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, ancak azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Anız yakılmayan ve anız yakılan topraklarda en yüksek ortalama toplam N içeriği başlangıç (0 gün) aşamasından (% 0.0476, % 0.0297) ve en düşük ortalama organik madde miktarı 120 gün uygulamasından (% 0.0466, % 0.0278) elde edilmiştir (Görsel 3.2).

Çalışma sonuçlarımıza göre anız yakılmayan parsellerde bulunan toprak azot içeriği yüksek değer gösterirken, anız yakılan parsellerdeki toprak azot içeriği önemli miktarda düşüş göstermiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda anızın yakılmasının sonucunda toprağa dönen organik madde miktarının çok azaldığı (Sirat ve ark., 2012), anız yakmanın toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozduğu (Savcı ve Bağdatlı, 2016; Temel, 2022), anız yakmanın sonucunda ortaya çıkan karbon toprakta azot, sülfür ve karbon eksikliğine sebep olduğu, bu durumda toprağa daha fazla miktarda azot ilavesi yapılması gerektiği ifade edilmektedir (Traş, 2008; Gupta et al., 2004; Heard et al., 2005; Zengin ve Gezgin, 2013). Anız yakılması neticesinde azalan organik madde toprakta bulunan canlıların yok olmasına toprak verimliliğinin azalmasına, biyolojik dengenin ve toprak ekolojisinin bozulmasına sebep olmaktadır (Limon-Ortega ve ark. 2002; Erdal ve ark., 2016). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir.

3.3. Anız Yakmanın Toprakların Elverişli Fosfor İçeriği Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde anız yakmanın toprakların elverişli P₂O₅ içeriği üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.3'de verilmiştir.

Görsel 3.3'e göre; anız yakılan ve yakılmayan parsellerde toprakların elverişli P₂O₅ içerikleri kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış p<0.05 seviyesinde önemsiz bulunmuştur. Kumlu tekstüre sahip topraklarda elverişli P₂O₅ killi topraklara göre yüksek değer göstermiştir



Görsel 3.3. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların elverişli P₂O₅ içerikleri üzerine etkileri.

Kumlu tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek elverişli P₂O₅ içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (11.612 ve 12.956 kg da⁻¹), en düşük elverişli P₂O₅ içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (9.132 ve 9.215 kg da⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.3).

Killi tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek elverişli P₂O₅ içeriği anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (6.450 ve 9.652 kg da⁻¹), en düşük elverişli P₂O₅ içeriği ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (5.262 ve 8.263 kg da⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.3).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama elverişli P₂O₅ içeriği 10.504 kg da⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 5.741 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda ortalama elverişli P₂O₅ içerikleri 10.581 kg da⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 9.027 kg da⁻¹ olarak belirlenmiştir (Görsel 3.3).

İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların organik madde içerikleri inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış p<0.05 seviyesinde önemsiz bulunmuştur. Anız yakılmayan ve yakılan parsellerde en yüksek ortalama elverişli P₂O₅ miktarı başlangıç (0 gün) aşamasından (9.031 kg da⁻¹, 11.304 kg da⁻¹) ve en düşük ortalama elverişli P₂O₅ miktarı 120 gün uygulamasından (7.197 kg da⁻¹, 8.739 kg da⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.3).

Çalışma sonuçlarımıza göre anız yakılmayan parsellerde bulunan toprak elverişli fosfor içeriği düşük değer gösterirken, anız yakılan parsellerdeki toprak elverişli fosfor içeriği nispeten yüksek değer göstermiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda anız yakmanın toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozduğu, (Zengin ve Gezgin, 2013; Savcı ve Bağdatlı, 2016), anız yakma sonrası toprakta kısa vadede nisbi olarak fosfor ve potasyum katkısı sağlansa da, azot, sülfür ve karbon kaybı yanında topraktaki yararlı mikroorganizmaların kaybolmasına,

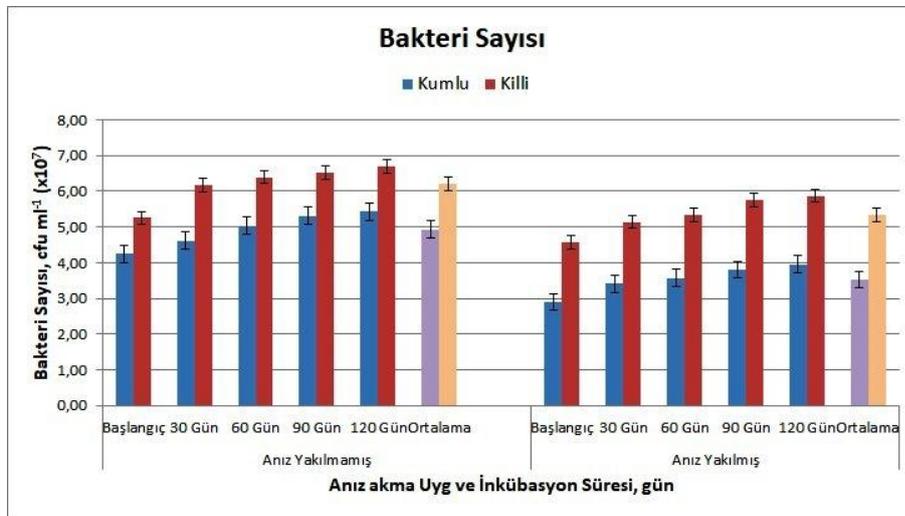
uzun vadede toprağın çoraklaşmasına neden olduğu bildirilmektedir (Gupta et al., 2004; Heard et al., 2005).

Anızın yakılmasının bir sonucu da toprağa dönen organik madde miktarının çok azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalma sonucunda organik madde içerisinde bulunan diğer besin elementlerinin de bir miktar kaybı söz konusu olmaktadır (Sirat ve ark., 2012). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir.

3.4. Anız Yakmanın Toprakların Bakteri Popülasyonu Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde anız yakmanın toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.4'de verilmiştir.

Görsel 3.4'e göre, anız yakılan ve yakılmayan parsellerde toprakların bakteri popülasyonu kumlu ve killi topraklarda farkı değerler göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Killi tekstüre sahip topraklarda bakteri popülasyonu kumlu topraklara göre yüksek değer göstermiştir.



Görsel 3.4. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkileri.

Kumlu tekstüre sahip parsellerdeki topraklarının en düşük bakteri popülasyonu anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin Başlangıç (0 gün) aşamasından (4.252×10^7 ve 2.895×10^7 cfu ml⁻¹), en yüksek bakteri popülasyonu ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (5.432×10^7 ve 3.951×10^7 cfu ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.4).

Killi tekstüre sahip parsellerdeki topraklarının en düşük bakteri popülasyonu anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin Başlangıç (0 gün) aşamasından (5.252×10^7 ve 4.572×10^7 cfu ml⁻¹), en yüksek bakteri popülasyonu ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (6.693×10^7 ve 5.874×10^7 cfu ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.4).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama bakteri popülasyonu 4.929×10^7 cfu ml⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 6.206×10^7 cfu ml⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda

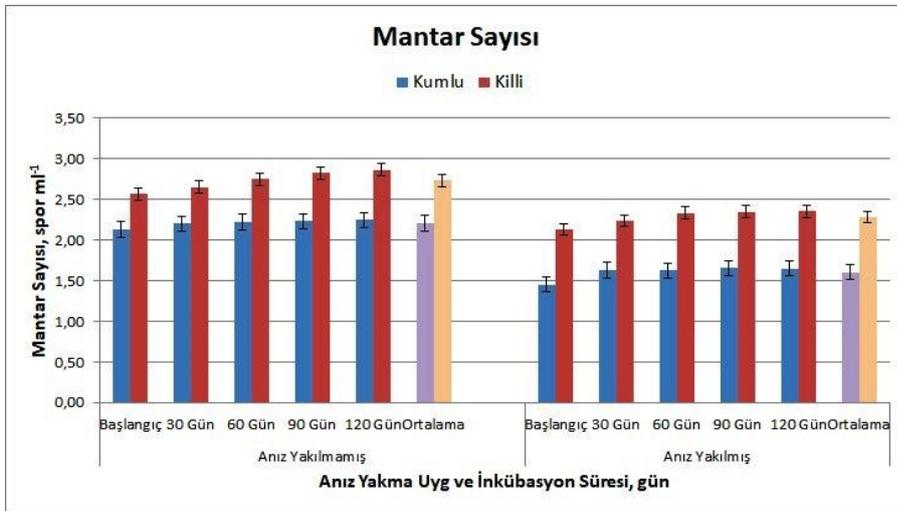
ortalama bakteri popülasyonu 3.528×10^7 cfu ml⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 5.337×10^7 cfu ml⁻¹ olarak belirlenmiştir (Görsel 3.4).

İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların bakteri popülasyonu inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda artış göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Anız yakılmayan ve yakılan topraklarda en düşük ortalama bakteri popülasyonu başlangıç (0 gün) aşamasından (4.752×10^7 , 3.794×10^7 cfu ml⁻¹) ve en yüksek ortalama bakteri popülasyonu 120 gün uygulamasından (6.062×10^7 , 4.913×10^7 cfu ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.4).

3.5. Anız Yakmanın Toprakların Mantar Popülasyonu Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde anız yakmanın toprakların mantar popülasyonu üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.5'de verilmiştir.

Görsel 3.5'e göre, anız yakılan ve yakılmayan parsellerde toprakların mantar popülasyonu kumlu ve killi topraklarda artış göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Killi tekstüre sahip topraklarda azot miktarı kumlu tektüre sahip topraklara göre yüksek değer göstermiştir.



Görsel 3.5. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların mantar popülasyonu üzerine etkileri.

Kumlu tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en düşük mantar popülasyonu anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (2.126×10^3 ve 1.148×10^3 spor ml⁻¹), en yüksek mantar popülasyonu ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (2.245×10^3 ve 1.646×10^3 spor ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.5).

Killi tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en düşük mantar popülasyonu anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (2.563×10^3 ve 2.129×10^3 spor ml⁻¹), en yüksek mantar popülasyonu ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (2.860×10^3 ve 2.348×10^3 spor ml⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.5).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama mantar popülasyonu 2.204×10^3 spor ml^{-1} ve killi bünyeli topraklarda 2.726×10^3 spor ml^{-1} olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda ortalama mantar popülasyonu 1.600×10^3 spor ml^{-1} ve killi bünyeli topraklarda 2.276×10^3 spor ml^{-1} olarak belirlenmiştir (Görsel 3.5).

İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların mantar popülasyonu inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda artış göstermiş, ancak azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Anız yakılmayan ve anız yakılan parsellerde en düşük mantar popülasyonu başlangıç (0 gün) aşamasından (2.344×10^3 , 1.788×10^3 spor ml^{-1}) ve en yüksek ortalama mantar popülasyonu 120 gün uygulamasında (2.552×10^3 , 1.997×10^3 spor ml^{-1}) elde edilmiştir (Görsel 3.5).

Çalışma sonuçlarımıza göre anız yakılmayan parsellerde bulunan bakteri ve mantar popülasyonu yüksek değer gösterirken, anız yakılan parsellerdeki bakteri ve mantar popülasyonu önemli oranda düşük değer göstermiştir. İnkübasyon süresine bağlı olarak da toprakların mikrobiyal popülasyonu (bakteri ve mantar içeriği) bir miktar zamanla artış göstermiş, bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Killi tekstüre sahip topraklarda mikrobiyal popülasyon (bakteri ve mantar içeriği) kumlu topraklara göre yüksek değer göstermiştir.

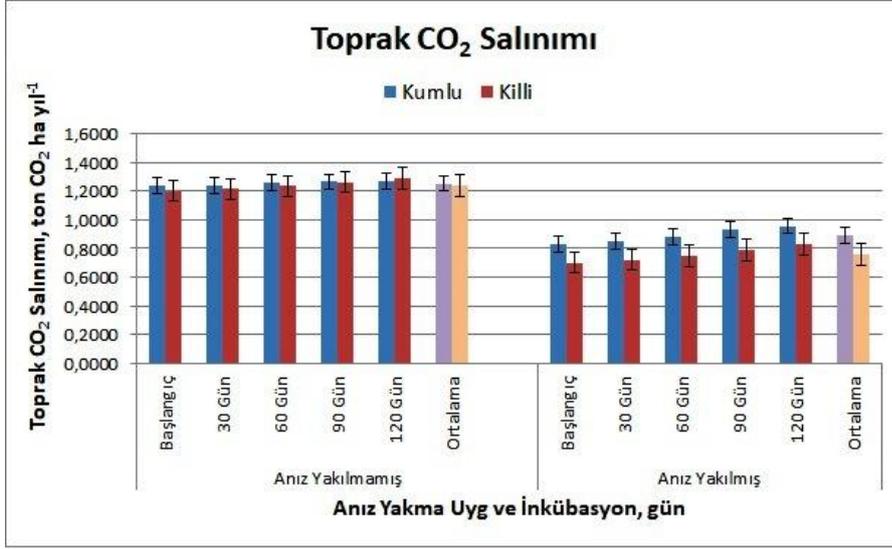
Yapılan çalışmalarda, anız yakma sonucu toprakların organik madde başta olmak üzere canlı popülasyonuna, biyolojik dengeye, toprak ekolojisine zarar verdiği ve uzun vadede toprak verimliliğini olumsuz etkilediği (Sirat ve ark., 2012; Erdal ve ark., 2016), anız yakmanın toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini bozduğu, toprağın 5-10 cm derinliğinde bulunan mikroorganizma popülasyonunun yaklaşık % 70'ine zarar verdiği belirlenmiştir (Savcı ve Bağdatlı, 2016; Temel, 2022)

Buğday ve mısır anızlarının yakılması veya yakılmadan toprağa karıştırılması sonrası toprak strüktürü, sıkışması ve mikrobiyal biyomas üzerine olumsuz etkileri olduğu, anızı yakılan toprakların azot kaynaklarının ve biyomas karbonun ilavesi ile bu özelliklerin düzeldiği ifade edilmektedir (Limon-Ortega ve ark. 2002).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar organik maddenin kaybı sonrasında canlı popülasyonunda görülen azalmalar ve toprağın biyolojik özelliklerindeki bozulmalar üzerine yapılan çalışmalar ile benzerlikler göstermiştir.

3.6. Anız Yakmanın Toprakların CO₂ Salınımı Üzerine Etkileri

Anız yakılan ve yakılmayan farklı tekstüre sahip parsellerde farklı inkübasyon sürelerinde toprakların CO₂ Salınımı üzerine etkilerini gösteren grafik Görsel 3.6'da verilmiştir.



Görsel 3.6. Anız yakmanın farklı tekstüre sahip parsellerde ve farklı inkübasyon sürelerinde toprakların CO₂ Salınımı üzerine etkileri.

Görsel 3.6'ya göre. anız yakılmayan ve yakılan parsellerde toprakların CO₂ Salınımı kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, Duncan çoklu karşılaştırma testine göre bu azalış p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Kumlu tekstüre sahip topraklarda CO₂ Salınım miktarları killi topraklara göre yüksek değer göstermiştir.

Kumlu tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toprak CO₂ Salınımı anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasından (1.240 ve 0.830 ton CO₂ ha yıl⁻¹), en düşük toprak CO₂ Salınımı ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (1.207 ve 0.763 ton CO₂ ha yıl⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.6).

Killi tektüre sahip parsellerdeki topraklarının en yüksek toprak CO₂ Salınımı anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin başlangıç (0 gün) aşamasında (1.200 ve 0.700 ton CO₂ ha yıl⁻¹), en düşük toprak CO₂ Salınımı ise anız yakılmamış ve yakılmış parsellerin hasat (120 gün) aşamasından (1.183 ve 0.667 ton CO₂ ha yıl⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.6).

Toprakların tekstürel yapıları göz önüne alındığında anız yakılmamış kumlu bünyeli topraklarda ortalama CO₂ Salınımı 1.227 ton CO₂ ha yıl⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 1.184 ton CO₂ ha yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde anız yakılmış kumlu bünyeli topraklarda ortalama CO₂ Salınımı 0.795 ton CO₂ ha yıl⁻¹ ve killi bünyeli topraklarda 0.677 ton CO₂ ha yıl⁻¹ olarak belirlenmiştir (Görsel 3.6).

İnkübasyon süreleri dikkate alındığında toprakların CO₂ Salınım miktarları inkübasyon süresinin (0, 30, 60, 90 ve 120 gün) artışına bağlı olarak kumlu ve killi topraklarda azalış göstermiş, ancak azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır Anız yakılmayan topraklarda en yüksek ortalama CO₂ Salınımı başlangıç (0 gün) aşamasından (1.220, 0.765 ton CO₂ ha yıl⁻¹) ve en düşük ortalama CO₂ Salınımı 120 gün uygulamasından (1.195, 0.715 ton CO₂ ha yıl⁻¹) elde edilmiştir (Görsel 3.6).

Yapılan çalışmalarda anız yakma sonucu C kaybının ile birlikte toprakta N eksikliğine sebep olduğu, toprağa daha fazla miktarda azot ilavesi yapılması gerektiği (Traş, 2008; Sirat ve ark.,

2012; Savcı ve Bağdatlı, 2016; Temel, 2022), toprakların C kaynağı olan organik maddelerin kaybolduğunu, toprağın su ve besin maddelerini tutma ve bitkiye sağlama kapasitesini olumsuz etkilediği belirlenmiştir (Kaliramana et al., 2019; He et al., 2020).

Aynı şekilde anız yakmanın organik madde ve toprak verimliliğine olan olumsuz etkileri yanı sıra, organik maddenin azalmasına, toprak verimliliğinin azalmasına, toprak canlıların yok olmasına topraklardan CO₂ kaybına, biyolojik dengenin ve toprak ekolojisinin bozulmasına sebep olduğu (Limon-Ortega et al., 2002) ortaya konulmuştur. Toprağın yüzey tabakalarında mikrobiyal popülasyon en fazla olup, profil derinliğine bağlı olarak azalma göstermektedir. Mikroorganizmalar genellikle bitki kök bölgesinde yoğun bulunurlar. Bu sebeple kök bölgesinde CO₂ miktarının yüksek değer gösterdiği, anız yakılan topraklarda ise azalış gösterdiği çeşitli araştırmalarda da ifade edilmektedir (Çolak 1995; Kızıloğlu 1995; Bilen, 2010; Bilen et al., 2010).

Toprakların C içeriği kation değişimini artırarak toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirir. Ayrıca kumlu toprakların su tutma kapasitesini çoğaltır ve karbonun agregatlara tutunmasına yardım ederek killi toprakların yapısal dengesini geliştirir. Topraklarda anız yakma toprak organik C'nu hem oksijene hem de oksitlenmeye açık hale getirir. Düşük toprak organik karbonu enerji kaynaklarının kıtlığına ve zayıf mikrobiyal kütleyle sebep olur. Eksilen toprak organik karbonu toprak biyotasında çeşitliliğin azalmasına yol açarak besin zinciri dengesinin bozulmasına sebep olur ve bu da toprak ekolojisini olumsuz etkiler (Dura ve Ayar, 2024). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar anız yakmanın toprakların CO₂ salınım miktarı üzerine olan olumsuz etkilerini gösteren çalışmalar ile benzerlikler göstermiştir.

4. GENELE DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen veriler aşağıdaki sonuçları ortaya koymuştur.

- Topraklarda anız yakma uygulaması organik maddenin kaybına sebep olduğu için toprağın verimliliğinde önemli düşüşler sağlayacağı kaçınılmazdır. Toprakların verimlilik düşüşünü azaltmak için anız yakılan topraklara ilave organik gübrelerin verilmesi önerilmektedir.
- Topraklarda anız yakma uygulaması toprak azotunun kaybına sebep olduğu için toprağın verimliliğinde önemli düşüşler sağlayacaktır. Toprakların N elementi bakımından verimlilik düzeyini yükseltmek için ilave azot kaynaklarının topraklara verilmesi önerilmektedir.
- Topraklarda anız yakma uygulaması toprak organik maddesinin yanarak elverişli fosfor içeriğini artırdığı gözlenmiştir. Toprak elverişli fosfor içeriğinin artışının toprak verimliliğine olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- Topraklarda anız yakmanın toprak mikrobiyal popülasyonu üzerine olumsuz etki yapmakta ve toprağın verimliliğinde önemli düşüşlere sebep olmaktadır. Toprakların verimlilik düşüşünü azaltmak için topraklarda ilave organik kaynakların verilmesi önerilmektedir.
- Topraklarda anız yakma uygulaması ile toprakların CO₂ salınım miktarında kaybın olduğu, bu kayıpların giderilmesi için topraklara organik gübre ilavesinin yapılması ve toprak mikrobiyal aktivitesinin artırılması önerilmektedir.

- Anızın yakılması sonucu topraklardaki organik madde, besin elementi, CO₂ salınımı ve canlı popülasyonu üzerindeki olumsuz etkiler toprağa ilave N ve C kaynaklarının verilmesi ile giderilebilir. Ancak N ve C kaynaklı kimyasal veya organik gübrelerle iyileştirme çabaları çiftçilerimiz için ilave bir masraf doğuracaktır. Bu sebeple topraklarda anızın yakılması sonrası toprak biyolojik özelliklerinin düzeltilmesi ekonomik kaybı da beraberinde getirecektir.
- Anız yakılan topraklarda ortaya çıkan CO₂ kaybının çevresel anlamda olumsuz etkilerinin olması, sera gazı miktarı üzerine artışa sebep olması ve küresel ısınmaya sebep olması açısından önemli çevresel sorunları beraberinde getirecektir. Bu olumsuz şartları en aza indirebilmek için anız yakma işleminden kaçınılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Alagöz, Z., Yılmaz E., Öktüren, F., Organik Materyal İlavesinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(2): 245-254, 2006.
- Anderson, J.P.E., *Soil Respiration, Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 2, Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, pp: 838-845, 1982.
- Bilen, S; Celik, A; Altikat, S. Effects of strip and full-width tillage on soil carbon IV oxide-carbon (CO₂-C) fluxes and on bacterial and fungal populations in sunflower. African Journal of Biotechnology, 9(38): 6312-6319, 2010.
- Bilen, S., Effect of cement dust pollution on microbial properties and enzyme activities in cultivated and no-till soils. African Journal of Microbiology Research 4(22): 2418-2425, 2010.
- Coşkan, A., Gök, M., Doğan, K., Anız Yakılmış ve Yakılmamış Parseller Üzerine Uygulanan Tütün Atığının Soyada Biyolojik Azot Fiksasyonuna ve Verime Etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi, 12 (3) 239-245, 2006.
- Çiçekler, M., *Anızların (Buğday Sapları) Kağıt Hamuru ve Kağıt Üretiminde Değerlendirilmesi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş, 2012.
- Çolak, A.K., *Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası*, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, No: 98, Adana, 1995,
- Demiralay, İ., *Toprak Fiziksel Analizleri*, Atatürk Üniv, Ziraat Fak, Yay, No:143, Erzurum, 1993,
- Dura, S., Ayar, F., Toprak Organik Karbonunun Korunması ve Karbon Ayak İzine Katkıları. Tarım Gündem Dergisi, 20.02.2024. <https://orbibarobotics.com/blogdetayi/toprak-sagligi-ve-karbon-iliskisi/>, 2024.
- Erdal, G., Erdal, H., Yavuz, H., 2016. Anız Yakma ve Çiftçi Bilinç Düzeyi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(8): 662-667, 2016
- Gee, G.W., Bauder, J.W., *Methods of Soil Analysis Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America-Madison, Wisconsin, USA, p: 383-409, 1986.
- Germida, J.J., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 27 Cultural Methods for Soil Microorganisms, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Levis Publishers, USA, p:263-275, 1993.
- Goh, T.B., Arnaud, R.J.St., Mermut, R., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 20 Carbonates, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Levis Publishers, USA, p:177-185, 1993.
- Gupta, .P.K., Sahai, S., Singh, N., Dixit, C.K., Singh, Sharma D.P., Sharma, C., Tiwari, M.,K., Gupta, R.K., Garg, S.C., Residue burning in rice wheat cropping system : causes and Implications. Current Science. 87(2) 1713-1717, 2004.
- Gürsoy, S., Diyarbakır İlinde Uygulanan Buğday Anızı ve Sapı Yönetim Sistemlerinin Değerlendirilmesi. YYU, Tar. Bil. Dergisi, 22(3):173-179, 2012.
- Handershot, W.H., Lalande, H., Duquette, M., *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 16 Soil Reaction and Exchangeable Acidity, Edited by Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Levis Publishers, USA, p:141-145, 1993.
- He, G., Liu, T., Zhou, M., *Straw burning*, PM2. 5, and death: Evidence from China. Journal of Development Economics, 102468, 2020.

- Heard, J., Cavers, C., Adrian, G., *Up in smoke nutrient loss with straw burning Better crops. Agronomy Fertility and Nutrients*. 90:10-11, 2005.
- Kaliramana, R.S., Sangwan, A., Sihag, P., *Burning of Crop Residues Harmful Effects in Soil Ecosystem and Potential Solutions*, Chapter 6. Effective Management of Paddy Residue/Wheat Stubble. Chief Editor Dr. RK Naresh, 99, 2019.
- Karazija, T., Cosic, T., Lazarevic, B., Horvat, T., Petek, M., Palcic, I., et al. Effect of organic fertilizers on soil chemical properties on vineyard calcareous soil. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 80(2):79-84, 2015.
- Kızıloğlu, F.T., *Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yay, No:180, Erzurum, Erzurum, 1995.
- Kızıloğlu, F.T., Bilen, S., *Toprak Mikrobiyolojisi Laboratuvar Uygulamaları*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:193, Erzurum, 1997.
- Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., *Lithium, sodium and potassium*, Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties Second Edition, American Society of Agronomy, SSSA-Madison, Wisconsin, USA, 225-245, 1982.
- Limon-Ortega, A., Sayre, K.D., Drijber, R.A., Soil Attributes in Furrow-Irrigated Bed Planting System in Northwest Mexico. *Soil & Tillage Research*, 63:123-132, 2002.
- Mc Gill, W.B., Figueiredo, C.T., *Total nitrogen*, Chapter 22, Soil Sampling and Methods of Analysis, Edited by: Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Sci, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 201-211, 1993.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., *Phosphorus*, Methods of Soil Analysis Part 2, Chemical and Microbiological Properties, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Sci, Society of Amerika-Madison, Wisconsin, USA, 403-427, 1982.
- Özbek, H., Dinç, U., Kapur, S., *Çukurova Üniversitesi Yerleşim sahası Topraklarının Detaylı Etüd ve Haritalaması*. Ç.Ü. Zir. Fak. Yay: 73, Bilimsel Araştırma ve İnceleme, 8, 1974.
- Rhoades, J.D., *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Second Edition, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America-Madison, Wisconsin, USA, p: 149-157, 1982.
- Savcı, S., Bağdatlı, M., *Anız Yakmanın Çevre Üzerine Olan Etkileri ve Çözüm Önerileri*. I. Uluslararası Şehir, Çevre ve Sağlık Kongresi, 2016.
- Sayılı, M., Akman, Z., *Tarımsal Uygulamalar ve Çevreye Olan Etkileri*, Ekoloji Çevre Dergisi, Çevre Koruma ve Araştırma Vakfı Yayını, 12, s. 28-32, 1994.
- Silme, R. S., Gümrükçü, E., Özkan, C. F., Baysal, Ö., Anız Yakmanın Toprakta Mikroflora Dinamiğine Olan Etkileri. *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, TR, 13:1:47-51, 2015.
- Sirat, A., Sezer, İ., Akay, H., *Kızılırmak Deltasında Organik Çeltik Tarımı*. GÜFBED/GUSTIJ, 2 (2):76-92, 2012.
- Tema Vakfı, <http://www3.tema.org.tr/Sayfalar/CevreKutuphanesi/ToprakErozyonu.html>, 2016.
- Temel, S., Şahin, C., *Atriplex nitens Schkuhr'in Ot Verim ve Kalite Özelliklerine Farklı Azot ve Fosforlu Gübre Dozlarının Etkisi*. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi, 8(3): 491 – 501, 2022.
- Tiessen, H., Moir, J.O., *Total organic carbon*, Chapter 21, Soil Sampling and Methods of Analysis, Edited by: Martin R, Carter, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 187-199, 1993.
- Traş, M., *Osmaniye'de Kentsel Arazi Kullanımından Kaynaklanan Mekansal Sorunlar*, Doğu Coğrafya Dergisi, 13-19, 2008.
- Yılmaz, G., Bilgili, A.V., Toprak, D., Almaca, E., Mermut, A.R., *Anız Yakmanın Karbondioksit Salınımına Etkisi*. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 18 (1), 26-32, 2014.

- Yurtsever, N., *Deneysel İstatistik Metotlar*. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın No: 121, Teknik Yayın No: 56, Ankara, 1984.
- Zengin, M., Gezgin, S., *Kop Bölgesi Tarım Topraklarının Problemleri ve Çözüm Yolları*. Ulusal Kop Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 14-16 Kasım 2013. Konya, 2013.

ODUN SİRKESİ PRIMİNG UYGULAMALARININ ÇEMENDE ÇİMLENMEYE ETKİSİ

Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI

Siirt Üniversitesi, arifozyazici@siirt.edu.tr - 0000-0001-8709-4633

Doç. Dr. Gülen ÖZYAZICI

Siirt Üniversitesi, gulenozyazici@siirt.edu.tr - 0000-0003-2187-6733

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ

Siirt Üniversitesi, semihacikbas@siirt.edu.tr - 0000-0003-4384-3908

ÖZET

Bu çalışmada, farklı dozda odun sirkesi priming uygulamalarının çemen (*Trigonella foenum graecum* L.) tohumlarının çimlenmesine etkileri araştırılmıştır. Araştırma, Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak "Çiftçi" çemen çeşidi kullanılmıştır. Laboratuvar çalışması, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak Petri kaplarında kurulmuştur. Çalışmada odun sirkesi (OS)'nin 3 farklı dozu (OS₁: 0.25 L OS/100 L su, OS₂: 0.50 L OS/100 L su ve OS₃: 0.75 L OS/100 L su), priming uygulanması yapılmayan kontrol grubu ve saf su ile priming (hidro-priming) uygulamaları araştırmanın konusunu teşkil etmiştir. Çalışmada, kurulduğu günden itibaren 24 saatte bir olacak şekilde çimlenen tohumlar sayılmış ve 7. günde sonlandırılmıştır. Araştırmada çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi ve çimlenme enerjisi parametreleri incelenmiştir. Çemen tohumlarına uygulanan priming yöntemlerinin çimlenme parametrelerine etkisi istatistiki açıdan $p < 0.01$ düzeyinde önemli olmuştur. Araştırma sonuçları, odun sirkesinin çemen tohumlarında çimlenme üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir. Ancak odun sirkesinin yüksek dozu, çemenin çimlenme potansiyeli üzerinde engelleyici etkisi olmuştur. Tüm çimlenme parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, çemen tohumu için odun sirkesinin 0.25 L OS/100 L su konsantrasyonunun önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çemen, odun sirkesi, priming, çimlenme yüzdesi

EFFECT OF WOOD VINEGAR PRIMING APPLICATIONS ON GERMINATION IN FENUGREEK

ABSTRACT

In this study, the effects of different doses wood vinegar priming treatments on the germination of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) seeds were investigated. The research was carried out under controlled conditions in the Laboratory of Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Siirt University. "Çiftçi" fenugreek variety was used as plant material. The laboratory study was established in Petri dishes according to the randomized plots trial design with 4 replications. In the study, 3 different doses of wood vinegar (WN) (WN₁: 0.25 L WN/100

L water, WN₂: 0.50 L WN/100 L water, and WN₃: 0.75 L WN/100 L water), the control group without priming and priming (hydro-priming) applications with pure water were the subjects of the research. In the study, germinated seeds were counted every 24 hours from the day it was established and it was terminated on the 7th day. In the study, germination percentage, mean germination time, germination uniformity coefficient, germination index and germination energy parameters were examined. The effect of priming methods applied to fenugreek seeds on germination parameters was statistically significant at $p < 0.01$ level. Research results showed that wood vinegar has positive effects on germination in fenugreek seeds. However, high doses of wood vinegar had an inhibitory effect on the germination potential of fenugreek. When all germination parameters were evaluated together, it was concluded that a concentration of 0.25 L WN/100 L water of wood vinegar could be recommended for fenugreek seeds.

Keywords: Fenugreek, Wood vinegar, Priming, Germination percentage

1. GİRİŞ

Japonlar tarafından 1930'lu yıllardan beri üzerinde çalışılan odun sirkesi, lignoselülozik biyokütlenin pirolizi ile ortaya çıkmış olup, son 20 yıldır tarımda kullanılmaya başlanmıştır. Piroliz işlemi sırasında açığa çıkan buhar, gaz ve dumanın damıtılması ile oluşan sıvının dinlendirilmesi ve bir süre bekletilmesi sonrasında oluşan üç katmanlı oluşumun orta katmanı, odun sirkesi olarak adlandırılmaktadır. Odun sirkesinin bileşimi, biyokömür üretiminde kullanılan biyokütlenin çeşidine ve piroliz koşullarına bağlıdır. Bununla birlikte, sıvı haldeki odun sirkesinde su oranı % 80-90 arasında değişmektedir (Bırol ve Günal, 2022). Odun sirkesinin; Polthane ve ark. (2015) bitki gelişimini artırdığını, Sun ve ark. (2018) ise azalttığını belirtirlerken, Mungkamchao ve ark. (2013) bitki büyümesini hiç etkilemediği yönünde görüş bildirmişlerdir. Altıyüz kez seyreltilmiş odun sirkesi uygulanan buğday (Wang ve ark., 2019) ve mısır (Sparg ve ark., 2006) tohumlarında çimlenmenin arttığı, domates ve biber tohumlarında ise çok az etki gösterdiği (Luo ve ark., 2019) rapor edilmiştir. Tohumdaki su alımının ve metabolik aktivitelerin düzenlenmesine bağlı olarak odun sirkesi çimlenmede artış göstermektedir (Bewley, 1997). Odun sirkesinin çimlenme yönünden performansı konsantrasyonuna bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir. Bu nedenle uygun çalışma konsantrasyonunun belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, çemen (*Trigonella foenum graecum* L.) tohumlarına farklı dozlardaki odun sirkesi priming uygulamalarının çimlenme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Çalışmada, çemenin "Çiftçi" çeşidine ait tohumluk materyali ve Biorfe firmasından temin edilen odun sirkesi kullanılmıştır. Çalışmada, kontrol (hiçbir uygulama yapılmayan konu), su ile priming (Hidro-priming, HP) ve odun sirkesi (OS) dozları (OS₁: 0.25 L OS/100 L su, OS₂: 0.50 L OS/100 L su, OS₃: 0.75 L OS/100 L su) uygulama konuları olarak ele alınmıştır. Laboratuvar deneyi, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak Petri kaplarında kurulmuştur.

Her konu ve tekerrür için 25 adet tohum kullanılmıştır. Tüm uygulamalarda tohumlar 1 dakika % 70 etil alkolde steril edildikten sonra 3 defa steril su ile durulanmıştır. Daha sonra tohum yüzeyindeki mikroorganizmaların deforme olması için 10 dakika % 10'luk sodyum hipoklorit (NaOCl) ile tohumları kaplayacak şekilde yüzey sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kontrol konusunda yer alan tohumlar, sadece yüzey sterilizasyonuna tabi tutulduktan sonra; hidro-priming uygulamasında ise tohumlar 12 saat süreyle saf suda bekletildikten sonra kurutma kağıdında başlangıç nemine kadar kurutulmuş Petri kaplarına yerleştirilmiştir. Odun sirkesi uygulamalarında ise, 3 farklı konsantrasyonda hazırlanan odun sirkesi dozlarında tohumlar 12 saat süreyle bekletilmiş; bu sürenin sonunda tohumlar saf sudan geçirilerek başlangıç nemine kadar kurutulmuştur. Petri ler, 7 gün boyunca karanlık ortamda ve 25 ± 1 °C sıcaklıktaki etüvde çimlenmeye bırakılmıştır. Yedi gün boyunca günlük olarak çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. Tohumlarda çimlenme tespit edilirken, en az 2 mm kökçük çıkışı olan bitkiler çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (Scott ve ark., 1984; Soleymani ve Shahrajabian, 2018). Çalışmada çimlenme yüzdesi (Scott ve ark., 1984), ortalama çimlenme süresi (Ellis ve Roberts, 1981), çimlenme üniformite katsayısı (Bewely ve Black, 1994), çimlenme enerjisi (Li ve ark., 2020) ve çimlenme indeksi (Wang ve ark., 2004) parametreleri incelenmiştir. Elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş; ortalamalar arasındaki farklılıklar TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile kontrol edilmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı dozlarda odun sirkesi ve hidro-priming uygulamalarında, çemen tohumlarında belirlenen çimlenme özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, çemen tohumlarına uygulanan priming yöntemlerinin çimlenme parametrelerine etkisi istatistiksel açıdan $p < 0.01$ düzeyinde önemli olmuştur.

Çizelge 1. Odun Sirkesi Priming Uygulamalarının Çemen Tohumlarının Çimlenmesi Üzerine Etkisi*

| Parametreler | Odun sirkesi (OS) dozları | | | | | TUKEY değeri/ Önemlilik düzeyi |
|--------------------------------|---------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|
| | Kontrol | HP | OS ₁ | OS ₂ | OS ₃ | |
| Çimlenme yüzdesi (%) | 83.3 b | 91.7 ab | 97.5 a | 88.3 ab | 70.0 c | 9.66** |
| Ortalama çimlenme süresi (gün) | 2.10 a | 1.60 b | 1.53 b | 1.53 b | 1.97 a | 0.21** |
| Çimlenme üniformite katsayısı | 40.3 b | 57.1 a | 64.5 a | 56.5 a | 35.6 b | 9.83** |
| Çimlenme enerjisi | 39.2 c | 48.3 b | 65.8 a | 50.8 b | 35.0 c | 6.14** |
| Çimlenme indeksi | 22.2 c | 27.3 b | 31.7 a | 27.2 b | 19.5 c | 2.83** |

*: Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel anlamda önemli değildir, HP: Hidro-priming, OS₁: 0.25 L OS/100 L su, OS₂: 0.50 L OS/100 L su, OS₃: 0.75 L OS/100 L su, **: $p < 0.01$ düzeyinde önemli farklılık

En yüksek çimlenme yüzdesi % 97.5 ile OS₁ uygulamasında elde edilmiş olup, odun sirkesinin bu dozu ile OS₂ ve HP konuları arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır. Odun sirkesi priming uygulaması, kontrol ve HP uygulamasına göre çimlenme yüzdesinde önemli artışlar sağlamasına rağmen; odun sirkesi dozlarının artmasına paralel olarak tohumların çimlenme yüzdesinin düştüğü, en yüksek odun sirkesi konsantrasyonunda (OS₃) çemenin çimlenme potansiyeli üzerinde engelleyici bir etki gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 1). Yüksek konsantrasyonlardaki odun sirkesinin çimlenme aşamasındaki engelleyici etkileri yaygın olarak

bildirilmiştir (Mu ve ark., 2003; Kadota ve Niimi, 2004; Mmojieje ve Hornung, 2015; Luo ve ark., 2019). Luo ve ark. (2019), yüksek dozdaki bu olumsuz etkiyi fenolik bileşiklere ve odun sirkesinin neden olduğu düşük pH'ya atfetmektedir.

Odun sirkesi ve HP priming uygulamalarında, ortalama çimlenme süresinin kontrole göre önemli ölçüde kısaldığı, HP, OS₁ ve OS₂ uygulamalarının istatistiki olarak aynı grupta yer aldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, yüksek odun sirkesi dozu ortalama çimlenme süresini uzatmış ve OS₃ uygulaması kontrol ile aynı grupta yer almışlardır (Çizelge 1).

Çimlenme üniformite katsayısı incelendiğinde, çimlenme yüzdesinde olduğu gibi, istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar HP, OS₁ ve OS₂ uygulamaları ile kontrol ve OS₃ konuları arasında gerçekleşmiştir (Çizelge 1).

Çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi yönünden en yüksek değerler OS₁ priming uygulamasında elde edilirken, bu özellikler yönünden odun sirkesinin inhibe etkisi OS₂ uygulamasından itibaren görülmüştür. Bir başka ifade ile odun sirkesi priming dozlarının artışına bağlı olarak adı geçen çimlenme parametrelerinin azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 1). Yang (1997), çin lahanası, lahana ve turp bitkilerinde odun sirkesinin farklı konsantrasyonlarını denediği çalışmada, Çin lahanası ve turpta çimlenme olumlu etkilenirken, lahana gelişiminin engellendiğini bildirmiştir. Ling ve ark. (2009), talaş sirkesinin farklı dozlarının mısır tohumlarında çimlenme oranı, çimlenme indeksi ve çimlenme gücü gibi çimlenme değerlerinde olumlu sonuçlar alındığını belirlemişlerdir. Abdolahipour ve Haghghi (2019), fesleğende 1250 ml/L odun sirkesi uygulaması çimlenme yüzdesini arttırırken, 2500 ml/L dozunun çimlenme sürecini hızlandırdığını tespit etmişlerdir. Fıstık ağacından elde edilen odun sirkesi ile yapılan priming, tuzlu koşullar altında Indigo bitkisinde çimlenme yüzdesini ve çimlenme hızını önemli ölçüde iyileştirerek ortalama çimlenme süresini azaltmıştır (Bahrasemani ve ark., 2022). Farklı bitki türleri ile yapılan diğer bazı çalışmalarda (Wang ve ark., 2017; de Guzman ve Dadural, 2021; Ju ve ark., 2021) da odun sirkesinin tohum çimlenmesi üzerinde iyileştirici etkilerinin olduğu rapor edilmiştir. Literatürdeki bu sonuçlar mevcut araştırma bulguları ile uyumludur.

4. SONUÇ

Odun sirkesi, tohum çimlenmesinde alternatif priming yöntemlerinden biri olabilir. Mevcut araştırma sonuçları, odun sirkesinin çemen tohumlarında çimlenme üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte yüksek dozlarda inhibe edici özelliğinin olması dikkat çekmiştir. Tüm çimlenme parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, çemen tohumu için odun sirkesinin 0.25 L OS/100 L su konsantrasyonunun önerilebileceği sonucuna varılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda, odun sirkesinin farklı konsantrasyonları ile birlikte uygulama sürelerinin ele alınacağı priming çalışmalarına odaklanılmasının yerinde olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Abdolahipour, B., Haghghi, M. Effect of pine wood vinegar on germination, growth and physiological characteristics, and uptake of elements in basil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 10(2), 11-23, 2019.
- Açıkgöz, N., Açıkgöz, N. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11(1), 135-147, 2001.

- Bahrasemani, S., Seyedi, A., Fathi, S., Jowkar, M. Improvement of germination indices, growth, and biochemical characteristics of indigo seedlings under salinity stress due to seed priming with pistachio wood vinegar. *Journal of Plant Biological Sciences*, 14(2), 43-64, 2022.
- Bewely, J., Black, M. Seeds: Physiology of Development and Germination. New York, 1994.
- Bewley, J.D. Seed germination and dormancy. *Plant Cell*, 9(7), 1055, 1997.
- Birol, M., Günal, E. Odun sirkesinin tarımda kullanımı. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 596-608, 2022.
- De Guzman, R.S., Dadural, M.I.Y. Seed germination and seedling growth of mango as affected by different concentrations of wood vinegar. *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*, 9(05), 49-60, 2021.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H. The quantification of ageing and survival in orthodox seed. *Seed Science and Technology*, 9(2), 373-409, 1981.
- Ju, Y., Zhang, X., Jong, C., Yun, T., Ri, I., Son, C., Chae, K. Effects of wood vinegar and biochar on germination of pakchoi seeds under different cadmium stress conditions. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 8(3), 267-280, 2021.
- Kadota, M., Niimi, Y. Effects of charcoal with pyroligneous acid and barnyard manure on bedding plants. *Sci Hortic.*, 101, 327-332, 2004.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9, 2020.
- Ling, Z., Enchen, J., Bosong, L.I. Effect of wood vinegar on seed germination and water implantation of corn. *Journal of Northeast Agricultural University*, 16(2), 6-11, 2009.
- Luo, X., Wang, Z., Meki, K., Wang, X., Liu, B., Zheng, H., You, X., Li, F. Effect of co-application of wood vinegar and biochar on seed germination and seedling growth. *Journal of Soils and Sediments*, 19(12), 3934-3944, 2019.
- Mmojieje, J., Hornung, A. The potential application of pyroligneous acid in the UK agricultural industry. *J Crop Improv.*, 29, 228-246, 2015.
- Mu, J., Uehara, T., Furuno, T. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants. *J. Wood Sci.*, 49, 262-270, 2003.
- Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., Jothityangkoon, D. Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 154, 66-72, 2013.
- Polthanee, A., Kumla, N., Simma, B. Effect of *Pistia stratiotes*, cattle manure and wood vinegar (pyroligneous acid) application on growth and yield of organic rainfed rice. *Paddy and Water Environment*, 13(4), 337-342, 2015.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24(6), 1192-1199, 1984.
- Soleymani, A., Shahrajabian, M.H. Changes in germination and seedling growth of different cultivars of cumin to drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 1(173), 91-100, 2018.

- Sparg, S.G., Kulkarni, M.G., Van Staden, J. Aerosol smoke and smoke-water stimulation of seedling vigor of a commercial maize cultivar. *Crop Science*, 46(3), 1336-1340, 2006.
- Sun, H., Feng, Y., Ji, Y., Shi, W., Yang, L., Xing, B. N₂O and CH₄ emissions from N-fertilized rice paddy soil can be mitigated by wood vinegar application at an appropriate rate. *Atmospheric Environment*, 185, 153-158, 2018.
- Wang, Y.Y., Jing, X.R., Li, L.L., Liu, W.J., Tong, Z.H., Jiang, H. Biototoxicity evaluations of three typical biochars using a simulated system of fast pyrolytic biochar extracts on organisms of three kingdoms. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 5, 481-488, 2017.
- Wang, Y., Qiu, L., Song, Q., Wang, S., Wang, Y., Ge, Y. Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 943, 2019.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences*, 44(2), 535-541, 2004.
- Yang, H. Wood vinegar effect on germination and growth of vegetable [J]. *Liaoning Urban and Rural Environmental Science & Technology*, 17(3), 78-80, 1997.

KURAKLIK STRESİNİN ÇİMLENMEYE ETKİSİ: BURÇAK TOHURLARI ÜZERİNDE BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ

Siirt Üniversitesi, semihacikbas@siirt.edu.tr - 0000-0003-4384-3908

Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI

Siirt Üniversitesi, arifozyazici@siirt.edu.tr - 0000-0001-8709-4633

Doç. Dr. Nizamettin TURAN

Siirt Üniversitesi, nturan49@siirt.edu.tr - 0000-0002-4026-6781

ÖZET

Bu çalışmada, burçak [*Vicia ervilia* (L.) Willd.] tohumlarına uygulanan farklı kuraklık seviyelerinin (% 0, % 5, % 10, % 15 ve % 20) bazı çimlenme özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda kontrollü şartlar altında yürütülmüştür. Yapay kuraklık stresi, polietilen glikol (polyethylene glycol, PEG-6000) materyali ile sağlanmıştır. Tohum materyali olarak burçağın yerel popülasyonu kullanılmıştır. Laboratuvar çalışması, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekrarlamalı olarak Petri kaplarında kurulmuştur. Çalışmada, deney kurulduğu günden itibaren 24 saatte bir olacak şekilde çimlenen tohumlar sayılmış; deney, 7. günde sonlandırılmıştır. Araştırmada çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme indeksi ve çimlenme enerjisi parametreleri incelenmiştir. Araştırma sonuçları PEG konsantrasyonu arttıkça ortalama çimlenme süresinin uzadığını ve diğer çimlenme parametrelerinin azaldığını göstermiştir. Ancak, kuraklık stresinin burçak tohumlarının çimlenmesi üzerindeki bu olumsuz etkisi % 5 kuraklık seviyesinden sonra ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla uygulanan işlemler arasındaki anlamlı farklılıklar ($p<0.01$), kontrol konusu ve % 5 kuraklık düzeyi ile diğer PEG uygulamaları arasında gerçekleşmiştir. Bu çalışma, burçak tohum çimlenmesinin PEG tarafından engellendiğini, ancak düşük PEG konsantrasyonunda (% 5) burçak üzerinde engelleyici bir etki olmadığını göstermiştir. Bu durum, burçak tohumlarının çimlenme aşamasında kuraklık stresine karşı sınırlı dirence sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Burçak, Kuraklık stresi, PEG-6000, Çimlenme yüzdesi

EFFECT OF DROUGHT STRESS ON GERMINATION: A EXAMINE ON BITTER VETCH SEEDS

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine of effects on some germination traits of different drought levels (0%, 5%, 10%, 15% and 20%) applied to the seeds of bitter vetch [*Vicia ervilia* (L.) Willd.]. The research was carried out under controlled conditions in the Laboratory of Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Siirt University. Artificial drought stress was

provided with polyethylene glycol (PEG-6000) material. Local populations of bitter vetch were used as seed material. The laboratory study was established in Petri dishes according to the randomized plots trial design with 4 replications. In the study, germinated seeds were counted every 24 hours from the day the experiment was established and the experiment was terminated on the 7th day. In the study, germination percentage, mean germination time, germination uniformity coefficient, germination index and germination energy parameters were examined. Research results showed that as PEG concentration increased, the mean germination time increased and other germination parameters decreased. However, this negative effect of drought stress on the germination of bitter vetch seeds appeared after 5% drought level. Therefore, the significant differences between the treatments applied ($p<0.01$) were observed between the control and the 5% drought level and the other PEG treatments. This study showed that bitter vetch seed germination was inhibited by PEG, but there was no inhibitory effect on bitter vetch at low PEG concentration (5%). This shows that bitter vetch seeds have limited resistance to drought stress during the germination stage.

Keywords: Bitter vetch, Drought stress, PEG-6000, Germination percentage

1. GİRİŞ

Fiğ cinsi (*Vicia* sp.), ılıman iklime sahip bölgelerde Avrupa, Asya ve Amerika'da dağılım gösteren çok sayıda türlerden oluşur (Alkin ve ark., 1986; Maxted, 1995). Tropikal olmayan kurak bölgelerde hayvan yemi olarak yetiştirilen burçak (*Vicia ervilia* L.), koca fiğ (*Vicia narbonensis* L.), yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) ve tüylü fiğ (*Vicia villosa* Roth.) bu türlerden en önemlileridir (Petrova ve ark., 2025). Burçak tohumları, yüksek karbonhidrat (% 66.2) ve protein (% 20.1) içeriği sayesinde yüksek besin değerine sahiptir (Petkova ve ark., 2020). Bu tür, devam eden iklim değişiklikleri ve organik tarım ile sürdürülebilir tarımın ihtiyaçları bağlamında alternatif bir ürün olarak kabul edilmektedir (Parisi ve ark., 2020; Boukrouh ve ark., 2024). *Vicia ervilia*'nin özellikle kuraklık ve tuzluluğa adaptasyon mekanizmaları hakkında çok az şey bilinmektedir (Çöçü ve Uzun, 2011). Kuraklık, bitki gelişimi ve verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olan ve bu nedenle ciddi tarımsal verim kayıplarına neden olan önemli bitki stres faktörüdür. Tohum çimlenmesi ve erken fide büyümesi, bitki gelişimi için kritik aşamalar olup, bitkiler bu aşamalarda kuraklık stresine karşı oldukça hassastır. Kuraklık stresi tohum çimlenmesini büyük ölçüde etkiler; ancak, stresin etkileri kuraklığın şiddetine ve türlere göre değişkenlik gösterir. Bu çalışmada, burçak (*V. ervilia*) tohumlarına uygulanan farklı kuraklık seviyelerinin çimlenme özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Tohum materyali olarak burçağın yerel popülasyonu kullanılmıştır. Kuraklık stresi koşulları polietilen glikol (polyethylene glycol, PEG-6000) materyali ile sağlanmıştır. Çalışmada 5 farklı kuraklık stresi (% 0, % 5, % 10, % 15 ve % 20) ele alınmıştır. Laboratuvar denemesi Petri kaplarında, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Konsantrasyonlar seçilirken, PEG-6000 solüsyonunun ozmotik direncinin -0.3 ile -0.80 MPa kuraklık stresi aralığı esas alınmıştır (Muscolo ve ark., 2014). Uygulanan kuraklık

seviyeleri belirlenirken ağırlık/hacim esasına göre % 0, % 5, % 10, % 15 ve % 20 konsantrasyonlu solüsyonlar hazırlanmıştır.

Her bir Petri (90 mm x 15 mm) kabına 25 adet homojen irilikte tohum gelecek şekilde iki kat filtre kâğıdı arasına tohumlar yerleştirilmiştir. Kontrol (% 0) konusu hariç, başlangıçta her bir Petri kabına 5 ml PEG solüsyonu uygulanmış; ilerleyen günlerde Petrilerdeki nem durumuna göre kuraklık dozları ilave edilmiştir. Petriyer, 7 gün boyunca karanlık ortamda ve 25 ± 1 °C sıcaklıktaki etüvde çimlenmeye bırakılmıştır. Yedi gün boyunca günlük olarak çimlenen tohum sayıları kaydedilmiştir. Tohumlarda çimlenme tespit edilirken, Scott ve ark. (1984) ve Soleymani ve Shahrajabian (2018) tarafından bildirilen esaslara göre, en az 2 mm kökçük çıkışı olan bitkiler çimlenmiş olarak kabul edilmiştir. Çalışmada çimlenme yüzdesi (Scott ve ark., 1984), ortalama çimlenme süresi (Ellis ve Roberts, 1981), çimlenme üniformite katsayısı (Bewely ve Black, 1994), çimlenme enerjisi (Li ve ark., 2020) ve çimlenme indeksi (Wang ve ark., 2004) parametreleri incelenmiştir.

Elde edilen veriler, tesadüf parselleri deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş; ortalamalar arasındaki farklılıklar TUKEY çoklu karşılaştırma testi ile kontrol edilmiştir (Açıkgöz ve Açıkgöz, 2001).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kuraklık stresi, bitki büyümesinin ve gelişiminin farklı aşamalarını, özellikle de çimlenmeyi etkileyen en önemli abiyotik streslerden biridir (Ghanifathi ve ark., 2011). Bu çalışmada, kuraklık stresinin burçak bitkisinin tohum çimlenmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çimlenme parametrelerine ait veriler Çizelge 1’de verilmiştir. Sonuçlar, PEG konsantrasyonu arttıkça çimlenme yüzdesinin azaldığını göstermiştir. Ancak, kontrolle karşılaştırıldığında, tohumlar % 5 PEG ile muamele edildiğinde burçağın çimlenme yüzdesinde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bir başka ifade ile tohumlar, hafif stres altında (% 5) ağır stres altında (% 20) olduğundan daha güçlü bir şekilde çimlenmiştir. Buna göre, % 5 kuraklık seviyesinde tohumların % 88.0’ı çimlenirken, % 20 kuraklık şiddetinde bu oran oldukça düşerek % 18.7 seviyesine gerilemiştir. Benzer şekilde, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi değerleri de kuraklık stresi arttıkça önemli ölçüde azalmalar gösterdiği tespit edilmiştir. Bir diğer çimlenme parametresi olan ortalama çimlenme süresi incelendiğinde; PEG konsantrasyonu arttıkça burçak tohumlarının ortalama çimlenme süresinin uzadığı gözlemlenmiştir. Çalışmada, % 5 kuraklık seviyesinde tohumlar ortalama 1.90 günde çimlenirken, en yüksek kuraklık şiddetinde (% 20) ortalama 3.10 günde çimlenmişlerdir. Bu sonuçlara göre yapılan varyans analizi, incelenen tüm çimlenme parametreleri için kuraklık seviyelerinde istatistiksel açıdan çok önemli değişkenlikler olduğunu ortaya koymuştur. Bu anlamlı farklılıklar, kontrol konusu ve % 5 kuraklık düzeyi ile diğer PEG uygulamaları arasında gerçekleşmiştir. Bir başka ifade ile kuraklık stresinin burçak tohumlarının çimlenmesi üzerinde olumsuz etkisi % 5 kuraklık seviyesinden sonra ortaya çıkmıştır (Çizelge 1).

Dolayısıyla mevcut çalışmada, kuraklık stresinin burçak tohumlarının çimlenmesi üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu görülmüştür. Mevcut araştırma sonuçlarına benzer şekilde Hojjat ve Hornyak (2022), kuraklık stresindeki artışın burçak bitkisinin çimlenme yüzdesini azalttığını, artan kuraklık seviyelerinin burçakta tohum çimlenmesinin bozulmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Baklagil yem bitkileri ile yapılan diğer bazı çalışmalarda da mevcut araştırma

bulgularıyla uyumlu sonuçlar alınmıştır. Bu çalışmalar gözden geçirildiğinde, Pahlavanpoor ve Khalderin (1999) ve Safarnejad (2008) PEG 6000'nin neden olduğu kuraklık stresinin yoncada çimlenme yüzdesini azalttığını; Ghorbanpour ve ark. (2011), çemende kuraklık stresi seviyelerinin artmasının çimlenme hızı ve yüzdesinin azalmasına neden olduğunu; Wu ve ark. (2013), *Medicago sativa* L., *Astragalus adsurgens* Pall. ve *Coronilla varia* L. türlerinin tohum çimlenmesinin PEG tarafından engellendiğini, ancak düşük PEG konsantrasyonunda *M. sativa* üzerinde engelleyici bir etki olmadığını bildirmişlerdir.

Çizelge 1. Farklı Kuraklık Seviyelerinin Burçak Tohumlarının Çimlenmesine Etkisi*

| Parametreler | Kuraklık seviyeleri | | | | | TUKEY değeri/ Önemlilik düzeyi |
|--------------------------------|---------------------|---------|----------|---------|--------|-----------------------------------|
| | Kontrol | % 5 | % 10 | % 15 | % 20 | |
| Çimlenme yüzdesi (%) | 93.3 a | 88.0 a | 65.3 b | 29.3 c | 18.7 c | 14.08** |
| Ortalama çimlenme süresi (gün) | 1.67 c | 1.90 bc | 2.57 abc | 2.70 ab | 3.10 a | 0.97** |
| Çimlenme üniformite katsayısı | 57.4 a | 46.5 a | 26.0 b | 11.4 bc | 6.1 c | 15.73** |
| Çimlenme enerjisi | 54.7 a | 44.0 a | 22.7 b | 13.3 bc | 5.3 c | 15.59** |
| Çimlenme indeksi | 17.7 a | 15.4 a | 9.1 b | 4.5 c | 2.3 c | 3.45** |

*: Aynı satırda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel anlamda önemli değildir, **: p<0.01 düzeyinde önemli farklılık

Kuraklık stresi ile ilgili farklı bitki türleri üzerinde yapılan birçok çalışmada da, örneğin; sorgum (Gill ve ark., 2002), şeker pancarı (Sadeghian ve Yavari, 2004), *Pisum sativum* L. (Okçu ve ark., 2005), *Anthephora pubescens*, *Heteropogon contortus* ve *Themeda triandra* (van den Berg ve Zeng, 2006), *M. sativa* (Hamidi ve Safarnejad, 2010), yulaf (Mut ve ark., 2010), *Eremosparton songoricum* (Litv.) Vass. (Li ve ark., 2013), *Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult. (Goraghani ve ark., 2013), mercimek (Muscolo ve ark., 2014) tohumlarında kuraklık stresinin çimlenme üzerinde olumsuz etkileri olduğu ve/veya stresin yoğunluğuna bağlı olarak tohumların çimlenmediği rapor edilmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, burçak tohum çimlenmesinin PEG tarafından engellendiğini, ancak düşük PEG konsantrasyonunda (% 5) burçak üzerinde engelleyici bir etki olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte sonuçlar, burçak tohumlarının iyi çimlenmesi için yüksek su ihtiyacına sahip olduğunu, çünkü tohumların ağır kuraklık stresi altında çimlenmesinin oldukça azaldığını göstermektedir. Bu daha yüksek nem gereksinimi, burçak tohumlarının çimlenme aşamasında kuraklık stresine karşı sınırlı direncini yansıtmaktadır.

KAYNAKÇA

- Açıkgöz, N., Açıkgöz, N. Tarımsal araştırmaların istatistiki değerlendirilmesinde yapılan bazı hatalar: I. Tek faktörlü denemeler. *Anadolu*, 11(1), 135-147, 2001.
- Alkin, R., Goyder, D.J., Bisby, F.A., White, R.J. Names and synonyms of species and subspecies in the viceae: Issue 3; University of Southampton: Hampshire, UK, 1986.
- Bewely, J., Black, M. Seeds: Physiology of Development and Germination. New York, 1994.
- Boukrouh, S., Noutfia, A., Moula, N., Avril, C., Louvieux, J., Hornick, J.L., Chentouf, M., Cabaraux, J.F. Characterisation of bitter vetch (*Vicia ervilia* (L.) Willd) ecotypes: An ancient and promising legume. *Exp. Agricult.*, 60, e19, 2024.

- Çöçü, S., Uzun, O. Germination, seedling growth and ion accumulation of bitter vetch (*Vicia ervilia* (L.) Willd.) lines under NaCl stress. *Afr. J. Biotechnol.*, 10, 15869-15874, 2011.
- Ellis, R.A., Roberts, E.H. The quantification of ageing and survival in orthodox seed. *Seed Science and Technology*, 9(2), 373-409, 1981.
- Ghanifathi, T., Valizadeh, M., Shahryari, R., Shahbazi, H. Effect of drought stress on germination indices and seedling growth of 12 bread wheat genotypes. *Advances in Environmental Biology*, 5(6), 1034-1039, 2011.
- Ghorbanpour, A., Mami, Y., Ashournezhad, M., Abri, F., Amani, M. Effect of salinity and drought stress on germination of fenugreek. *African Journal of Agricultural Research*, 6(24), 5529-5532, 2011.
- Gill, R.K., Sharma, A.D., Singh, P., Bhullar, S.S. Osmotic stress-induced changes in germination, growth and soluble sugar content of *Sorghum bicolor* (L.) Moench seeds. *Bulg. J. Plant Physiol.*, 28, 12-25, 2002.
- Goraghani, H.R.S., Heidary, G.A., Solaimani Sardo, M. Effects of salinity and drought stresses on seed germination and seedling growth of desert wheatgrass *Agropyron desertorum*. *Journal of Rangeland Science*, 4(1), 14-22, 2013.
- Hamidi, H., Safarnejad, A. Effect of drought stress on alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in germination stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 8(6), 705-709, 2010.
- Hojjat, S.S., Louis Hornyak, G. TiO₂ Nanoparticle Improve germination and seedling parameters and enhance tolerance of bitter vetch (*Vicia ervilia* L.) plants under salinity and drought stress. *Nanobiotechnology Reports*, 17(3), 411-419, 2022.
- Li, H., Li, X., Zhang, D., Liu, H., Guan, K. Effects of drought stress on the seed germination and early seedling growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). *EXCLI Journal*, 12, 89-101, 2013.
- Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li, T., Shen, F., Cheng, Q. A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9, 2020.
- Maxted, N. An ecogeographical study of *Vicia* subgenus *Vicia*. In Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools 8, Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 1995.
- Muscolo, A., Sidari, M., Anastasi, U., Santonoceto, C., Maggio, A. Effect of PEG-induced drought stress on seed germination of four lentil genotypes. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 354-363, 2014.
- Mut, Z., Akay, H., Aydin, N. Effects of seed size and drought stress on germination and seedling growth of some oat genotypes (*Avena sativa* L.). *Afr J Agr Res.*, 5, 1101-1117, 2010.
- Okçu, G., Kaya, M.D., Atak, M. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29(4), 237-242, 2005.
- Pahlavanpoor, A., Khaldberin, B. Physiological effects of drought stress one-year alfalfas. 8 Biology Conference Across Iran, Razi University, pp. 45, 1999.
- Parisi, G., Tulli, F., Fortina, R., Marino, R., Bani, P., Dalle Zotte, A., De Angelis, A., Piccolo, G., Pinotti, L., Schiavone, A., Terova, G., Prandini, A., Gasco, L., Roncarati, A., Danieli,

- P.P. Protein hunger of the feed sector: The alternatives offered by the plant world. *Ital. J. Anim. Sci.*, 19, 1204-1225, 2020.
- Petkova, Z.Y., Antova, G.A., Angelova-Romova, M.Y., Petrova, A., Stoyanova, M., Petrova, S., Stoyanova, A. Bitter vetch seeds (*Vicia ervilia* L.)-A valuable source of nutrients. *Bulg. Chem. Commun.*, 52, 12-15, 2020.
- Petrova, S., Stoilova, T., Velinov, V., Vaseva, I.I., Simova-Stoilova, L. Phenotypic diversity and abiotic stress tolerance among *Vicia ervilia* (L.) Willd. accessions. *Plants*, 14, 1008, 2025.
- Sadeghian, S.Y., Yavari, N. Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet. *J. Agron. Crop Sci.*, 190, 138-144, 2004.
- Safarnejad, A. Morphological and biochemical response to osmotic stress in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Pak. J. Bot.*, 40(2), 735-746, 2008.
- Scott, S.J., Jones, R.A., Williams, W.A. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, 24(6), 1192-1199, 1984.
- Soleymani, A., Shahrajabian, M.H. Changes in germination and seedling growth of different cultivars of cumin to drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 1(173), 91-100, 2018.
- Van den Berg, L., Zeng, Y.J. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *South African Journal of Botany*, 72(2), 284-286, 2006.
- Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., Liu, Y.L. Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences*, 44(2), 535-541, 2004.
- Wu, C., Wang, Q., Xie, B., Wang, Z., Cui, J., Hu, T. Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. *African Journal of Biotechnology*, 10(78), 17954-17961, 2011.

GENOTİP SEÇİMİNDE MODERN BİTKİ ISLAHINDA MTSİ VE MGİDİ İNDEKSLERİNİN ÖNEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Figen CERİTOĞLU

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Siirt, figenyildiz@siirt.edu.tr - 0000-0003-4016-0394

***Dr. Öğr. Üyesi Mustafa CERİTOĞLU**

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, ceritoglu@siirt.edu.tr - 0000-0002-4138-4579

ÖZET

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, tarımsal üretim sistemlerinde artan çevresel belirsizliklere neden olarak genetik ıslah sürecinde yeni yaklaşımları zorunlu kılmaktadır. Geleneksel varyans analizleri (ANOVA) ve çoklu karşılaştırma testleri (LSD, Tukey vs.) yalnızca tek bir özelliğe odaklanmakta ve genotip-çevre etkileşimlerini göz ardı etmektedir. Bu durum, modern ıslah programlarında sınırlı bir seçim başarısı ile sonuçlanmaktadır. Çoklu özelliği birlikte değerlendiren ve çevresel stabiliteyi dikkate alan modern seleksiyon indeksleri, bu eksiklikleri gidermek için geliştirilmiştir. Çoklu Özellik Stabilite İndeksi (MTSİ) ve Çok Özellikli Genotip-İdeotip Mesafe İndeksi (MGİDİ) gibi yöntemler, genotiplerin hem çoklu özellik performanslarını hem de çevresel adaptasyon yeteneklerini dikkate alarak ideal tipe olan uzaklıklarını istatistiksel olarak güçlü bir temele dayandırarak sıralar. Bu indeksler, BLUP ve genomik seleksiyon gibi ileri düzey modelleme teknikleriyle entegre edilebilmekte, bu sayede genetik ilerleme oranını artırmakta ve ıslah sürecine bütüncül bir bakış açısı kazandırmaktadır. Modern ıslah projelerinde bu indekslerin kullanımı, iklim değişikliğine dayanıklı, yüksek performanslı ve kararlı genotiplerin seçiminde bilimsel temelli karar verme süreçlerini güçlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel stabilite, Çoklu özellik analizi, Genetik ilerleme, Seleksiyon indeksleri, Genotip-çevre etkileşimi

THE IMPORTANCE OF MTSI AND MGIDI INDICES IN GENOTYPE SELECTION FOR MODERN PLANT BREEDING

ABSTRACT

Climate change and global warming have intensified environmental variability in agriculture, necessitating more advanced approaches in plant breeding. Traditional selection tools like ANOVA and post-hoc comparison tests (e.g., LSD, Tukey) are limited by their focus on single traits and their inability to account for genotype-by-environment interactions. To address these shortcomings, modern selection strategies have embraced multi-trait, stability-focused statistical indices. The Multi-Trait Stability Index (MTSI) and the Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index (MGIDI) provide a robust framework for evaluating genotypes based on their performance across multiple traits and environments, measuring their statistical proximity to an ideal genotype. These indices integrate seamlessly with advanced models like BLUP and genomic selection, offering greater precision in predicting genetic gain. Their adoption strengthens decision-making processes and supports the development of resilient, high-performing, and climate-adapted genotypes-essential for future-proof plant breeding programs.

Anahtar Kelimeler: Environmental stability, Multi-trait analysis, Genetic gain, Selection indices, Genotype-environment interaction

MORPHOLOGICAL AND MOLECULAR IDENTIFICATION OF *HOHENBUEHELIA PETALOIDES* AND *LACRYMARIA LACRYMABUNDA* IN ÇANAKKALE PROVINCE

Doç. Dr. İsmail ACAR*

Van Yüzüncü Yıl University, Başkale Vocational School, Department of Organic Agriculture,
Van, Türkiye, iacar2011@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6049-4896>

Doç. Dr. Halide KARABIYIK

Trakya University, Arda Vocational School, Department of Food Processing, Edirne, Türkiye,
halidekarabiyik@trakya.edu.tr, <http://orcid.org/0000-0002-1778-2200>

Prof. Dr. Ilgaz AKATA

³Ankara University, Faculty of Science, Department of Biology, Ankara/TÜRKİYE,
akatailgaz@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1731-1302>

ABSTRACT

This study identified the species *Hohenbuehelia petaloides* (Bull.) Schulzer and *Lacrymaria lacrymabunda* (Bull.) Pat. are using both morphological and molecular methods. Samples were collected from Çanakkale province during fieldwork in 2024. During morphological identification, macroscopic and microscopic features were examined and compared with existing literature data. At the molecular level, the ITS (internal transcribed spacer) gene region was amplified and sequenced from DNA extracted from the samples, and a comparative analysis was conducted using sequences from the GenBank database. Although both species had previously only been reported morphologically in different regions of Turkish mycobiota, this study presents the first molecular characterization and the first record of both *H. petaloides* and *L. lacrymabunda* in Çanakkale province. These results further highlight the importance of integrating morphological and molecular data for species identification.

Keywords: Basidiomycota, Macrofungus, Molecular characterization, Çanakkale

ÖZET

Bu çalışmada, *Hohenbuehelia petaloides* (Bull.) Schulzer ve *Lacrymaria lacrymabunda* (Bull.) Pat. türleri morfolojik ve moleküler yöntemler kullanılarak tanımlanmıştır. Örnekler, 2024 yılı saha çalışmaları sırasında Çanakkale ilinden toplanmıştır. Morfolojik teşhis sürecinde makro ve mikroskopik karakterler detaylı olarak incelenmiş ve literatür bilgileriyle karşılaştırılmıştır. Moleküler düzeyde ise, örneklerden elde edilen DNA'dan ITS (Internal Transcribed Spacer) gen bölgesi amplifiye edilerek dizilenmiş ve GenBank veritabanındaki sekanslarla karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Her iki tür de daha önce Türkiye mikobiyotasının farklı bölgelerinden yalnızca morfolojik olarak bildirilmiş olmakla birlikte, bu çalışma hem *H. petaloides* hem de *L. lacrymabunda* türlerinin Çanakkale ili için ilk kaydını hem de Türkiye'deki ilk moleküler karakterizasyonunu sunmaktadır. Elde edilen bulgular, türlerin tanımlanmasında morfolojik ve moleküler verilerin bütüncül kullanımının önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Basidiomycota, Makrofungus, Moleküler karakterizasyon, Çanakkale

1. INTRODUCTION

Agaricales consists of macroscopic fungi within the phylum Basidiomycota. It is one of the largest and most diverse taxonomic orders worldwide, in terms of species variety and ecological roles. Recent phylogenetic and molecular research indicate that the order includes approximately 46 families, over 480 genera, and more than 40,000 described species, with new species being discovered each year (Cho et al., 2025). *Agaricales* show a wide range of ecological diversity, including saprotrophic, ectomycorrhizal, parasitic, and nematophagous forms (Akata et al., 2024a).

Pleurotaceae, which belongs to this order, is known for its saprotrophic species, particularly those that thrive on decaying woody and herbaceous materials. One of the most notable genera within the family is *Hohenbuehelia*, which includes around 50 species that are morphologically distinct due to their funnel-shaped caps and gelatinous layers at the edges of the lamellae (Phonemany et al., 2023). The genus is also notable for its nematophagic abilities: many species produce adhesive hyphae that can capture and digest nematodes (He et al., 2019; Phonemany et al., 2023). *Hohenbuehelia petaloides* (Bull.) Schulzer is a characteristic saprophytic species found throughout Europe, Asia, and North America. It is known for its leaf-like cap (Korkmaz et al., 2024).

Another important family is *Psathyrellaceae*, which is known for its dark spores and short-lived fruiting bodies. One striking genus is *Lacrymaria*, which releases dark, tear-like droplets from its lamellae at maturity (Redhead et al., 2001). One of its most widespread species, *L. lacrymabunda* (Bull.) Pat., commonly known as the 'weeping widow', is a saprophyte that grows in moist areas with nitrogen-rich soil, such as parks and gardens (O'Reilly, 2011).

This study aimed to examine the macroscopic and microscopic characteristics of *Hohenbuehelia petaloides* and *Lacrymaria lacrymabunda* in detail and identify them at the molecular level using analysis of the ITS gene region. These findings provide the first confirmed records of these species in Çanakkale Province and aim to contribute to the diversity of Türkiye's fungi, thereby filling existing gaps in regional biodiversity knowledge.

2. MATERIALS AND METHODS

The fungal specimens examined in this study were collected during systematic field studies conducted in various natural areas of Çanakkale Province, Turkey, in 2025 (see Figure 1). A comprehensive taxonomic approach was used to identify the species, combining morphological observations and molecular analyses to ensure accurate identification and classification at the species level.

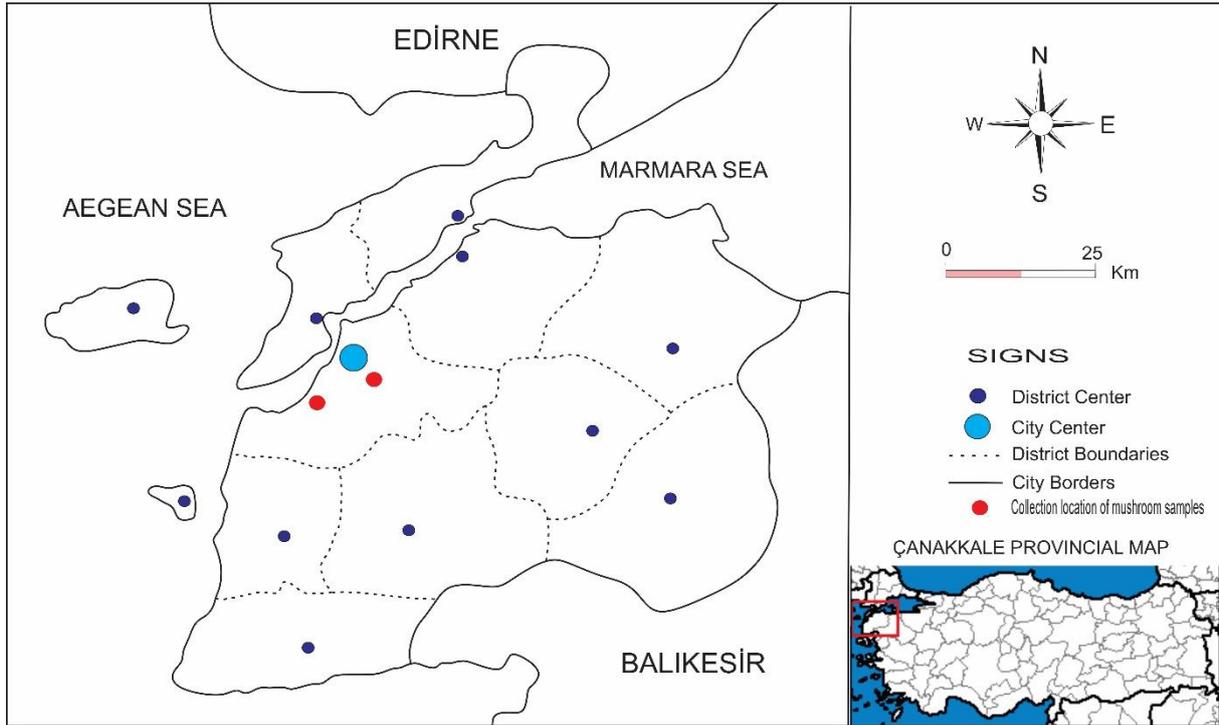


Figure 1. Map of the research area (Çanakkale, Türkiye)

2.1. Morphological Studies

During field studies, the location, date, habitat type, substrate properties, and macroscopic findings of the samples were recorded as part of ecological data. The samples were also photographed in their natural environment using a Canon EOS 60D digital camera. Samples brought to the laboratory were dried under controlled conditions, labeled properly, and stored in polyethylene bags. Micromorphological examinations were performed using a Leica DM500 light microscope to observe basidia, basidiospores, cystidia, and pileipellis structures in detail. To ensure accurate measurements for each microscopic characteristic, at least 30 measurements were taken and analyzed with Leica Application Suite (v3.4.0). Scientific illustrations of the microscopic structures were created using CorelDRAW (64-bit; Corel Corporation, Canada). Primary literature sources such as Bas (1983), O'Reilly (2011), Desjardin et al. (2015), and Gonsiglio & Ledo (2018) were used for species identification. The identified samples were converted into fungarium material and preserved under appropriate environmental conditions in the Fungarium Collection of the Biology Department at Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Science.

2.2. Determination of ITS rDNA Sequences

Genomic DNA was isolated from the macrofungal samples used in this study following the CTAB protocol described by Rogers and Bendich (1994) and Akata et al. (2024a, b; 2025). After isolation, the purity and concentration of the DNA were measured using a NanoDrop 2000c UV-Vis spectrophotometer made by Thermo Scientific (USA). The DNA samples obtained were stored at -20 °C until PCR (polymerase chain reaction) procedures were carried out. To support species identification, amplification was performed using the universal primer pair ITS1/ITS4 to target the Internal Transcribed Spacer (ITS) region. The primer sequences used were ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') and ITS4 (5'-TCCTCCGCTTTATTGATATATGC-3'), respectively. Sequencing was carried out using a Kana device and a BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA).

The PCR reaction was prepared in a total volume of 25 μ L, with each tube containing 10 μ M primer pair, 10 ng/ μ L genomic DNA, 10X PCR buffer, 25 mM MgCl₂, 10 mM dNTP mix, 5 U/ μ L Taq DNA polymerase (FIREPol®, Solis Biodyne, Estonia), and sterile distilled water. The PCR cycling program included an initial denaturation at 95 °C for 3 minutes, followed by 35 cycles of denaturation at 95 °C for 30 seconds, annealing at 55 °C for 30 seconds, and extension at 72 °C for 1 minute. The final step was a 72 °C extension for 5 minutes. Successfully amplified samples were run on a 1% agarose gel at 100 V for 90 minutes, showing a single band approximately 700 bp long. These bands were purified using the MAGBIO HighPrep PCR Cleanup System (AC60005) kit and sent to the Macrogen (Netherlands) laboratory for sequencing. Sequencing was performed using an ABI 3730XL Sanger sequencer and the BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, Foster City, CA) (Chen et al., 2014).

2.3. Molecular Phylogeny

Bayesian phylogenetic analyses were conducted using the MrBayes 3.2.7a software (Ronquist et al., 2012). Sequences from the ITS gene region of *Hohenbuehelia* and *Lacrymaria* species were used in the study. Following DNA isolation, Sanger sequencing data amplified using the ITS1/ITS4 primer pair were analysed using DNAMAN version 10 software (Lynnon Corporation) to generate consensus sequences. These consensus sequences were then subjected to BLASTn analysis to identify those with the highest identity ratios. The ingroup and outgroup members to be used in the phylogenetic analyses were downloaded from the NCBI GenBank database (see Appendices 1 and 2). *Pleurotus citrinopileatus* was used as the outgroup in *Hohenbuehelia* analyses and *Psathyrella abieticola* in *Lacrymaria* analyses.

The sequences were analysed using the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) algorithm in MrBayes software, and the probability distribution of the phylogenetic trees was sampled using the MCMC+MC³ method. The uniform rate GTR+I+G nucleotide substitution model (Tavaré, 1986; Yang, 1994) was applied in evolutionary analyses. The analyses were run for a total of 3,000,000 generations, with two independent runs and four chains. The first 25% of the samples were removed in the burn-in step. The following were sampled along the chains: change rates (revmat), base frequencies (statefreq), variation of change rates (shape), proportion of invariable regions (pinvar), branch lengths and topologies. The reliability of the analyses was assessed using the bootstrap method described by Felsenstein (1985), with 1,000 replicates.

3. RESULTS

3.1. Morphology

This study examined the collected macrofungi using morphological and phylogenetic methods, identifying them as *Hohenbuehelia petaloides* and *Lacrymaria lacrymabunda* at the species level. Detailed morphological descriptions of each sample are provided, along with high-resolution photographs of macroscopic structures and drawings of microscopic features. Information on the sampling dates and geographic coordinates is also included. At the molecular level, the ITS rDNA gene regions of the samples were sequenced and their phylogenetic relationships analysed using Bayesian methods. The study also discusses the distinguishing characteristics of the species at both the macroscopic and microscopic levels, providing important data that will contribute to the mycobiota of Türkiye. This study is unique in that it advances the regional molecular characterisation of widely distributed saprophytic and nematophagous species.

Basidiomycota Whittaker ex R.T. Moore
Agaricomycetes Doweld
Agaricales Underw.
Pleurotaceae Kühner
Hohenbuehelia Schulzer
Hohenbuehelia petaloides (Bull.) Schulzer
GenBank no: PV953293.

(Figure 2)

Pileus 20–100 mm wide, fan-shaped, semicircular, petaloid, often eccentric or sessile; margin initially incurved, becoming straight or undulate with age, sometimes splitting in dry conditions; surface smooth to finely velvety, moist when young, drying matt, whitish-gray to gray-brown, occasionally zonate; flesh thin, pliable, with a gelatinous layer. **Lamellae** decurrent, narrow, close to crowded, whitish to grayish, sometimes yellowish with age; edges often whitish and fertile. **Stipe** absent or short, 5–20 × 3–6 mm, eccentric or lateral, whitish, tomentose to fibrillose. **Spores** 5–9 (–10) × 3–4.5 μm, ellipsoid, smooth, thin-walled, hyaline, inamyloid. **Basidia** 24–36 × 5.5–8 μm, narrowly clavate, thin-walled and hyaline, four-spored. **Cheilocystidia** 16–35 × 4.5–8 μm, abundant, fusoid-lycystiform, capitate. **Pleurocystidia** 35–100 × 7.5–20 μm, (metuloids) abundant, lanceolate to fusoid, with thick walls, smooth or with apical encrustations, sometimes obscure in KOH but clearer in lactophenol or cotton blue; hyaline, walls ochraceous in KOH. **Pileipellis** forming a cutis, composed of gelatinized hyphae 2.5–7.5 μm wide. Clamp connections present.

Specimens examined: Türkiye, Çanakkale, between Güzelyalı and Kumkale observation deck, around Firdevs Bozkurt Fountain, 40° 00'15"N, 26° 17'36"E, 40 m, on stump of *Pinus brutia* L., 06.01.2025, Acar 1898.



Figure 2. *Hohenbuehelia petaloides* a-b. Basidiomata in natural habitat, c. spores, d. basidia, e. cheilocystidia, f. pleurocystidia, g. pileipellis
Scale bar: 10 μm

Psathyrellaceae Vilgalys
Lacrymaria Pat.
Lacrymaria lacrymabunda (Bull.) Pat.
GenBank no: PV953294.

(Figure 3)

Pileus 30–100 mm broad, convex or bell-shaped when young, expanding to broadly convex or umbonate with age, sometimes becoming irregularly undulate, splitting in dry conditions. Surface dry, densely covered with dark brown to blackish fibrillose scales (velvety), fading to pale tan over time; center usually darker, sometimes reddish-brown. **Flesh** thin, fragile, pale brown, lacking a distinctive odor or taste. **Lamellae** adnate to adnexed, crowded, narrow; greyish-brown when young, turning dark brown to blackish as spores mature; edges paler, often exuding dark watery droplets (“weeping”), giving rise to the common name. **Stipe** 50–120 × 5–10 mm, cylindrical, sometimes slightly bulbous at the base; whitish to pale brownish, covered with fine fibrils; young specimens with remnants of a fibrillose cortina. Spore print dark brown to blackish. **Spores** 8–11 × 5–7 μm, ellipsoid to lemon-shaped, thick-walled, finely verrucose, with a distinct germ pore, dark brown. **Basidia** 24–32 × 8–13 μm, narrowly clavate, four-spored, thin-walled, hyaline. **Cheilocystidia** 50–90 × 5–12 μm, abundant, lageniform or utriform, often with capitate tips, thin-walled. **Pleurocystidia** scattered to abundant, fusoid to lanceolate, sometimes with apical crystalline encrustations, metuloid type, 35–75 × 7.5–12.5 μm, thin-walled. **Pileipellis** a cutis of parallel to radially arranged hyphae, 5–10 μm wide, with brownish incrustations. Clamp connections present throughout.

Specimens examined: Türkiye, Çanakkale, above Çınarlı village, near Birlik Fountain, 40° 02'54"N, 26° 23'49"E, 204 m, in meadow, 08.01.2025, Acar 1915.



Figure 3. *Lacrymaria lacrymabunda* a-b. Basidiomata in natural habitat, c. spores, d. basidia, e. pleurocystidia, f. cheilocystidia, g. pileipellis **Scale bar:** 10 μm

3.2. Phylogenetic results

This study assessed specimens from the genera *Hohenbuehelia* and *Lacrymaria* using Bayesian phylogenetic analysis based on ITS sequences. Specimen *Hohenbuehelia petaloides* (PV953293) grouped with other sequences of the same species in GenBank (e.g., KU535350, KU535345, and KX064439) with high support values (PP = 1), forming a monophyletic cluster at the species level. The analysis showed a clear distinction at this level, with *H. petaloides* Acar1898 distinctly separated from other *Hohenbuehelia* species (e.g., *H. bonii*, *H. auriscalpium*, and *H. flabelliformis*). *Pleurotus citrinopileatus* served as the outgroup to root the tree (Figure 4). Similarly, *Lacrymaria lacrymabunda* (PV953294) clustered within the

Lacrymaria tree with high Bayesian posterior probabilities (PP = 1.00, 0.85), grouping with GenBank sequences of the same species (PQ310622, MZ159649). Other *Lacrymaria* species (*L. echiniceps*, *L. glareosa*, and *L. hypertropicalis*) also formed strongly supported monophyletic groups, clearly showing interspecific separation. Including *Psathyrella abieticola* as an outgroup also helped distinguish species (Figure 5).

In both analyses, the molecular results supported the morphological identifications and allowed for reliable species-level identification. The observed genetic variation, especially in widely distributed species, demonstrates that regional molecular characterization studies significantly enhance our understanding of the Turkish mycobiota.

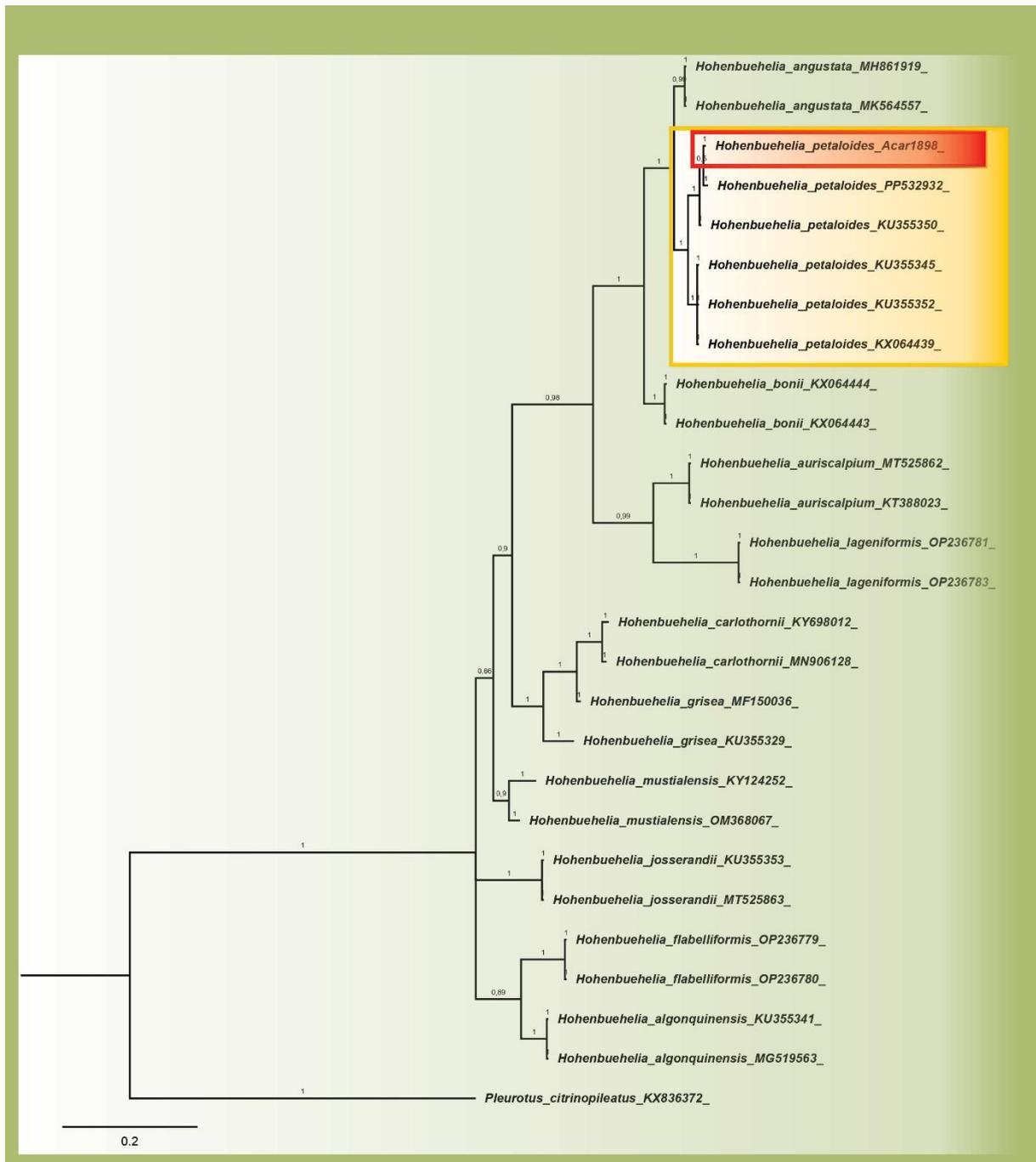


Figure 4. Bayesian phylogenetic tree based on ITS sequences of *Hohenbuehelia* species. The values on the branches represent Bayesian posterior probabilities. The newly sequenced specimen (*H. petaloides* Acar1898) is marked in red. *Pleurotus citrinopileatus* was used as the outgroup to root the tree.

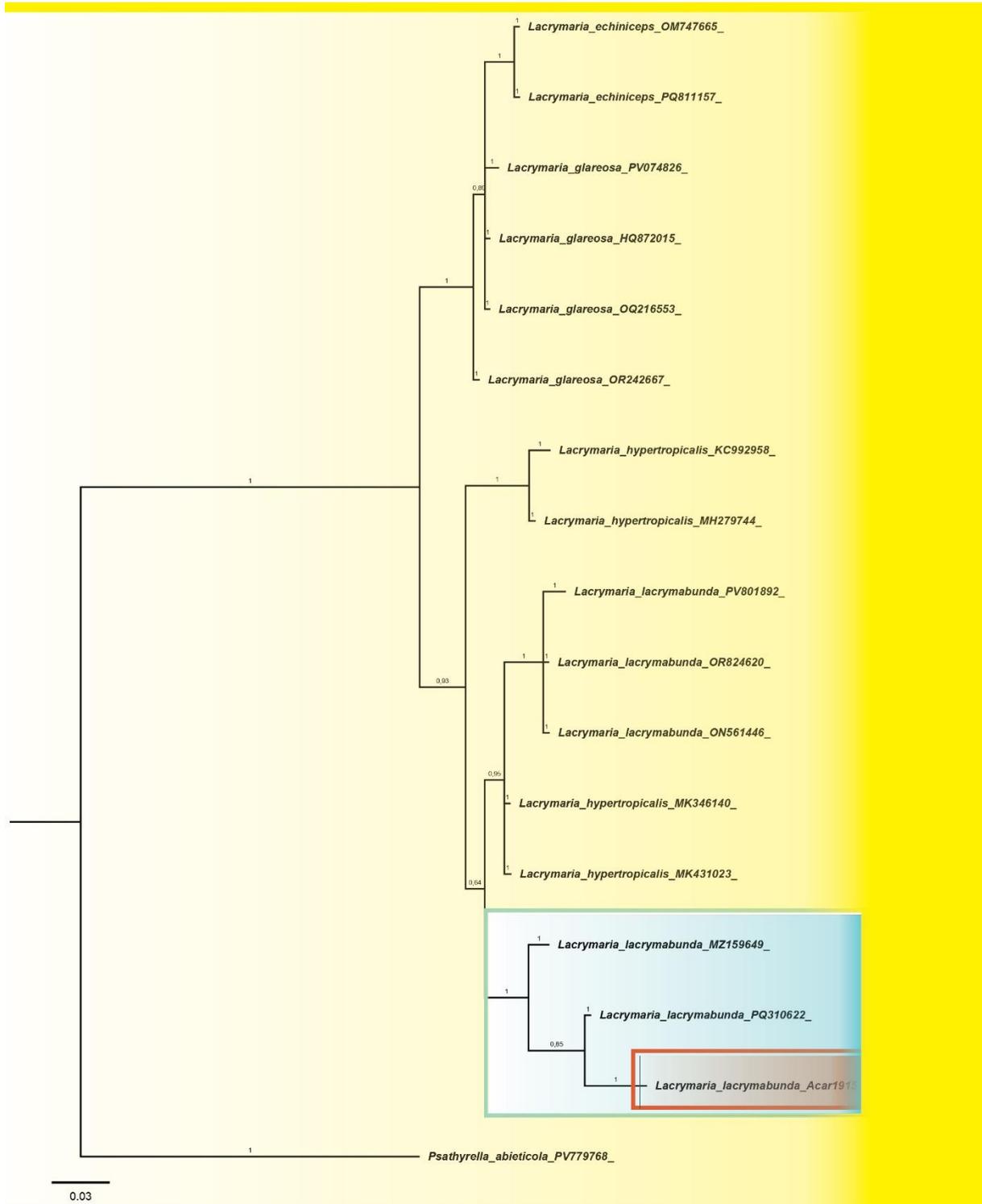


Figure 5. Bayesian phylogenetic tree based on ITS sequences of *Lacrymaria* species. GenBank accession numbers are shown at the tips of the branches, and the values along the branches represent

Bayesian posterior probabilities. The newly sequenced specimen (*Lacrymaria lacrymabunda* Acar1915) is marked in a red box. *Psathyrella abieticola* was used as the outgroup to root the tree.

DISCUSSION

This study offers detailed morphological and molecular characterizations of *Hohenbuehelia petaloides* and *Lacrymaria lacrymabunda*, which were collected from Çanakkale Province, Turkey. Both species were accurately identified through macroscopic and microscopic observations, as well as phylogenetic analyses of the ITS rDNA region.

Hohenbuehelia petaloides is a globally distributed saprophytic species identified by its fan- or petal-shaped fruiting bodies, gelatinous pileipellis layer, and nematophagous lifestyle (Thorn, 1986; de Freitas Soares et al., 2018). The presence of metuloid pleurocystidia, fusoid-lecythiform cheilocystidia, and clamp-associated hyphae in the specimens examined in this study, along with traditional morphological features, supported the species identification. Molecular phylogenetic analyses showed that specimens collected in Turkey are genetically similar to those from European and Asian regions, indicating the species maintains its genetic integrity despite its wide geographic range (Thorn et al., 2000). Although it can resemble species like *H. auriscalpium* and *H. bonii* morphologically, *H. petaloides* is distinguishable by its unique metuloid pleurocystidia and nematophagic properties (Thorn, 1986; Thorn et al., 2000).

Lacrymaria lacrymabunda, commonly known as the 'weeping widow,' is a saprophytic species that thrives in nitrogen-rich environments. It is characterized by its dark, scaly cap; darkening lamellae with age; and dark droplets seeping from the edges of the lamellae (Cortez & Coelho, 2005; Nagy et al., 2013). The specimens examined in the study displayed distinctive microscopic features, including dark brown spores with germ pores, abundant capitate cheilocystidia, and metuloid pleurocystidia. Molecular data showed that the Çanakkale specimens belong to the same phylogenetic group as sequences from Europe, indicating low intraspecific genetic variation and supporting the species' widespread distribution. *In the field*, *L. lacrymabunda* can often be mistaken for *Psathyrella* and *Coprinellus* species; however, its thick-walled metuloid pleurocystidia and dark, germ-pore spores set it apart (Cortez & Coelho, 2005; Yang et al., 2025).

These findings demonstrate the strong discriminatory power of the ITS region at the species level within the *Hohenbuehelia* and *Lacrymaria* genera. They also emphasize the importance of molecular data as a complementary tool to morphological identification. Presenting the first molecularly verified records of these species from Türkiye contributes to regional mycobiota studies. It underscores the role of saprophytic and nematophagic fungi in providing ecosystem services.

In conclusion, this study underscores the importance of a comprehensive taxonomic approach that combines field observations, morphological studies, and molecular phylogenetics for species identification and biogeographic assessments.

REFERENCES

- Akata, İ., Kumru, E., Ediş, G., Acar, İ., & Sahin, E. (2024a). Two newly reported Agaricales species from Türkiye with morphological and molecular data. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 24(3), 260-280. <https://doi.org/10.17475/kastorman.1599952>
- Akata, I., Ediş, G., Kumru, E., Acar, İ., & Sahin, E. (2024b). Taxonomic Studies on *Rhodocybe asyae* Specimens Discovered in a New Location. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 27(Ek Sayı 1 (Suppl 1)), 124-132. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1507554>
- Akata, I., Kumru, E., Ediş, G., Özbey, B. G., Acar, İ., & Sahin, E. (2025). Morphological and Molecular Characterization of *Terfezia claveryi* and its Distribution in Türkiye. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 28(3), 843-854. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.1622161>
- Bas, C. (1983). On the application of the name *Agaricus lacrymabundus* Bull.: Fr. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 12(1), 103-106.
- Chen L., Cai Y., Zhou G., Shi X., Su J., Chen G., Lin K. (2014). Rapid Sanger sequencing of the 16S rRNA gene for identification of some common pathogens. *PloS One* 9: e88886.
- Cho, M., Yoo, Y., Lee, S. H., Kwon, D. Y., Kim, C., Kwon, S. L., & Kim, J. J. (2025). Six Unrecorded Species of Agaricales (Agaricomycetes, Basidiomycota) from Mudeungsan National Park in Korea. *Mycobiology*, 53(4), 421-434. <https://doi.org/10.1080/12298093.2025.2517905>
- Cortez, V. G., & Coelho, G. (2005). A new combination in *Lacrymaria* (Agaricales). *Mycotaxon*, 93, 129-134.
- de Freitas Soares, F. E., Sufiate, B. L., & de Queiroz, J. H. (2018). Nematophagous fungi: Far beyond the endoparasite, predator and ovicidal groups. *Agriculture and Natural Resources*, 52(1), 1-8.
- Gonsiglio, G. & Ledo, S. (2018). I Generi *Hohenbuehelia* e *Resupinatus* in Europa. A.M.B.: Italy. 448 p.
- Desjardin, D. E., Wood, M. G., & Stevens, F. A. (2015). *California mushrooms: The comprehensive identification guide*. Timber Press.
- Felsenstein, J. (1985). Phylogenies and the comparative method. *The American Naturalist*, 125(1), 1-15.
- He, M. Q., Zhao, R. L., Hyde, K. D., Begerow, D., Kemler, M., Yurkov, A., ... & Kirk, P. M. (2019). Notes, outline and divergence times of Basidiomycota. *Fungal diversity*, 99(1), 105-367.
- Korkmaz, C., Gunes, H., Küçükaydın, M. T., Küçükaydın, S., & Duru, M. E. (2024). Biological Activities and Chemical Contents of Edible *Hohenbuehelia petaloides* (Bull.) Schulzer. *ACS omega*, 9(46), 45733-45745.
- Nagy, L. G., Vágvolgyi, C., & Papp, T. (2013). Morphological characterization of clades of the Psathyrellaceae (Agaricales) inferred from a multigene phylogeny. *Mycological Progress*, 12(3), 505-517.
- O'Reilly, P. (2011). *Fascinated by fungi* (pp. 1-450). Ceredigion: First Nature.

- Phonemany, M., Vadthanarat, S., Raghoonundon, B., Thongklang, N., & Raspé, O. (2023). Additions to *Hohenbuehelia* (Basidiomycota, Pleurotaceae): two new species and notes on *H. tristis* from northern Thailand. *MycKeys*, 99, 109.
- Redhead, S. A., Vilgalys, R., Moncalvo, J. M., Johnson, J., & Hopple Jr, J. S. (2001). *Coprinus* Pers. and the disposition of *Coprinus* species sensu lato. *Taxon*, 50(1), 203-241. <https://doi.org/10.2307/1224525>
- Rogers, S. O., & Bendich, A. J. (1994). Extraction of total cellular DNA from plants, algae and fungi. In *Plant molecular biology manual* (pp. 183-190). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ronquist, F., Teslenko, M., Van Der Mark, P., Ayres, D. L., Darling, A., Höhna, S., ... & Huelsenbeck, J. P. (2012). MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Systematic biology*, 61(3), 539-542. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys029>
- Tavaré, S. (1986). in the Analysis of DNA Sequences. *Some mathematical questions in biology: DNA sequence analysis*, 17, 57.
- Thorn, R.G. (1986). *Nematoctonus* and the tribe Resupinateae in Ontario, Canada. *Mycotaxon*, 25, 321-453.
- Thorn, R. G., Moncalvo, J. M., Reddy, C. A., & Vilgalys, R. (2000). Phylogenetic analyses and the distribution of nematophagy support a monophyletic Pleurotaceae within the polyphyletic pleurotoid-lentinoid fungi. *Mycologia*, 92(2), 241-252.
- Yang, Z. (1994). Maximum likelihood phylogenetic estimation from DNA sequences with variable rates over sites: approximate methods. *Journal of Molecular evolution*, 39(3), 306-314.
- Yang, K. L., Lin, J. Y., Li, G. M., & Yang, Z. L. (2025). Introducing one new genus and two new species of Psathyrellaceae (Basidiomycota, Agaricales), with notes on *Candolleomyces* and *Ephemerocybe*. *Phytotaxa*, 702(1), 1-28.

APPENDIX 1

Hohenbuehelia algonquinensis (KU355341), *H. algonquinensis* (MG519563), *H. angustata* (MH861919), *H. angustata* (MK564557), *H. auriscalpium* (MT525862), *H. auriscalpium* (KT388023), *H. bonii* (KX064444), *H. bonii* (KX064443), *H. carlothornii* (KY698012), *H. carlothornii* (MN906128), *H. flabelliformis* (OP236779), *H. flabelliformis* (OP236780), *H. grisea* (KU355329), *H. grisea* (MF150036), *H. josserandii* (KU355353), *H. josserandii* (MT525863), *H. lageniformis* (OP236781), *H. lageniformis* (OP236783), *H. mustialensis* (KY124252), *H. mustialensis* (OM368067), *H. petaloides* (PV953293), *H. petaloides* (KU355350), *H. petaloides* (PP532932), *H. petaloides* (KU355345), *H. petaloides* (KU355352), *H. petaloides* (KX064439), *Pleurotuscitrino pileatus* (KX836372).

APPENDIX 2

Lacrymaria lacrymabunda (MZ159649), *L. lacrymabunda* (PQ310622), *L. lacrymabunda* (PV801892), *L. lacrymabunda* (OR824620), *L. lacrymabunda* (ON561446), *L. lacrymabunda* (PV953294), *L. echiniceps* (OM747665), *L. echiniceps* (PQ811157), *L. glareosa* (PV074826), *L. glareosa* (HQ872015), *L. glareosa* (OQ216553), *L. glareosa*

(OR242667), *L. hypertropicalis* (KC992958), *L. hypertropicalis* (MH279744) *L. hypertropicalis* (MK346140), *L. hypertropicalis* (MK431023), *Psathyrella bieticola* (PV779768)

Taxonomic and Phylogenetic Identification of *Melanoleuca bataillei* (Basidiomycota) from Çanakkale

İsmail ACAR^{1*}, Halide KARABIYIK²

^{1*}Van Yüzüncü Yıl University, Başkale Vocational School, Department of Organic Agriculture, Van, Türkiye

²Trakya University, Arda Vocational School, Department of Food Processing, Edirne, Türkiye

Abstract: In this study, a *Melanoleuca* specimen collected from Çanakkale Province, Türkiye, was examined using morphological and molecular methods and identified as *Melanoleuca bataillei* at the species level. In macroscopic examinations, cap size, colour, lamella structure, and stipe characteristics were detailed; in microscopic analyses, spore morphology, basidia, and cystidia structures were evaluated in detail. Within the scope of molecular studies, the ITS (Internal Transcribed Spacer) region was sequenced, and the data obtained were compared with the reference sequences in GenBank. Phylogenetic analyses revealed that the specimen showed high similarity with *M. bataillei* and clustered in a strong monophyletic clade. This study, which contributes to the macrofungus biota of Türkiye, is essential as it is the first confirmed record of the species from Çanakkale, based on morphological and molecular methods. It also provides new data that may shed light on the taxonomic complexity within the genus *Melanoleuca*.

Keywords: DNA, *Melanoleuca bataillei*, New Record, Çanakkale, Türkiye

BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜNDE KULLANILAN BESİYERİ ORTAMLARINDA İNOKÜLE EDİLEN *SCENEDESMUS ACUTUS* TÜRÜNÜN GELİŞİMİ İLE PROTEİN VE LİPİT İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİMLER

Dr. Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK

Fırat Üniversitesi, gksimsek@firat.edu.tr- 0000-0001-8896-2893

ÖZET

Mikroalgler, fotosentetik özellikleri sayesinde atmosferik CO₂'yi organik bileşiklere dönüştürebilen, hızlı büyüme yetenekleri ve zengin biyokimyasal içerikleriyle sürdürülebilir biyoteknolojik uygulamalarda giderek daha fazla önem kazanan mikroorganizmalardır. Bu organizmalar tarafından sentezlenen protein ve lipitler, yüksek ticari değerleri nedeniyle biyoyakıt, fonksiyonel gıda, hayvan yemi, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır. Proteinler, özellikle amino asit profili açısından zengin oluşlarıyla değerli bir biyokütle bileşeni olarak öne çıkarken; lipitler, özellikle trigliserit yapısında olduklarında biyodizel üretiminde temel hammaddeyi oluşturmaktadır. Bu nedenle, mikroalglerin kültür koşulları altında bu bileşikleri hangi düzeyde sentezlediği, biyoteknolojik üretim sistemleri için kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, yeşil mikroalg türlerinden *Scenedesmus acutus*, iki farklı kültür ortamında (Murashige ve Skoog - MS ve Jaworski's besiyerleri) inoküle edilerek gelişim, toplam protein ve lipit üretimi açısından karşılaştırılmıştır. MS ortamı, yüksek nitrat ve mikro element içeriği ile öne çıkarken; Jaworski's besiyeri ortamı daha dengeli bir mineral kompozisyon sunmaktadır. On günlük kültür süreci boyunca elde edilen veriler, her iki besiyeri ortamının *S. acutus*'un büyüme performansı ve metabolit üretim kapasitesi üzerinde farklı etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur. MS besiyeri ortamında gözlemlenen gelişim (0,980 OD 680 nm), toplam protein (2,405 µg/mL) ve lipit içeriği (%63,65), Jaworski's besiyeri ortamında elde edilen değerlere (0,805 OD 680 nm; 1,820 µg/mL; %55,05) kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Özellikle protein ve lipit üretiminde gözlenen değişimler, kültür ortamı bileşiminin mikroalglerin biyokimyasal profiline doğrudan yön verdiğini göstermektedir. Bu sonuçlar, mikroalg temelli biyoteknolojik uygulamalarda ortam optimizasyonunun önemini vurgulamakta ve sürdürülebilir üretim stratejilerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Scenedesmus acutus*, besiyeri ortamı, protein miktarı

CHANGES IN GROWTH, PROTEIN, AND LIPID CONTENT OF *SCENEDESMUS ACUTUS* INOCULATED IN CULTURE MEDIA USED IN PLANT TISSUE CULTURE

Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK

Firat University, gksimsek@firat.edu.tr- 0000-0001-8896-2893

ABSTRACT

Microalgae are microorganisms that are gaining increasing importance in sustainable biotechnological applications due to their photosynthetic capabilities, rapid growth rates, and rich biochemical compositions. These organisms convert atmospheric CO₂ into organic compounds and are capable of synthesizing valuable metabolites such as proteins and lipids, which have high commercial value. Proteins, with their rich amino acid profiles, serve as an essential component of biomass, while lipids, particularly in the form of triglycerides, are key raw materials for biodiesel production. Therefore, the extent to which microalgae synthesize these compounds under different culture conditions is of critical importance for biotechnological production systems. In this study, the green microalga *Scenedesmus acutus* was inoculated into two different culture media (Murashige and Skoog (MS) and Jaworski medium) and compared in terms of growth, total protein, and lipid production. The MS medium is characterized by its high nitrate and trace element content, while the Jaworski's medium provides a more balanced mineral composition. Data obtained over a ten-day culture period revealed that the two media had different effects on the growth performance and metabolite production capacity of *S. acutus*. Growth (0.980 OD 680 nm), total protein (2.405 µg/mL), and lipid content (63.65%) observed in the MS medium were found to be significantly higher than those measured in the Jaworski's medium (0.805 OD 680 nm; 1.820 µg/mL; 55.05%). The observed differences, particularly in protein and lipid production, indicate that the composition of the culture medium directly influences the biochemical profile of microalgae. These findings highlight the importance of medium optimization in microalgae-based biotechnological applications and contribute to the development of sustainable production strategies.

Keywords: *Scenedesmus acutus*, culture medium, protein amount

ASTAKSANTİN ÜRETİMİNİN ARTIRILMASI AMACIYLA *HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS* MİKROALG TÜRÜ ÜZERİNDE FARKLI KÜLTÜR KOŞULLARININ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK

Fırat Üniversitesi, gksimsek@firat.edu.tr- 0000-0001-8896-2893

ÖZET

Astaksantin, doğal kaynaklardan elde edilen en güçlü antioksidanlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Serbest radikallerin neden olduğu hücresel hasarı engelleme kapasitesi, onu gıda takviyeleri, ilaçlar, kozmetik ürünler ve özellikle akuakültür endüstrisinde değerli bir bileşik haline getirmiştir. Bu bağlamda, yeşil mikroalg *Haematococcus pluvialis*, hücre başına %4–5 oranında astaksantin biriktirme kapasitesiyle biyoteknolojik açıdan en verimli doğal kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, *H. pluvialis*'in astaksantin üretim potansiyelini artırmak için kültür koşullarının optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. *H. pluvialis*'in astaksantin sentezi, genellikle stres koşullarında kistik evrelerde başlamaktadır. Bu nedenle, pigment üretimini maksimize etmek amacıyla kültür ortamı koşullarının dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir. Işık şiddeti ve dalga boyları, astaksantin sentezinde temel belirleyicilerden biridir. Özellikle yüksek ışık ($200\text{--}400\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) ve mavi-kırmızı ışık kombinasyonları, astaksantin akümülyasyonunu teşvik etmediği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Stres uygulamalarının astaksantin sentezi üzerindeki etkinliği, büyük ölçüde besiyeri içeriğine bağlı olup; özellikle azot ve karbon kaynaklarının sınırlanması veya değiştirilmesi, farklı ortamların besiyeri olarak kullanımı hücreleri karotenoid üretimine yönlendirmektedir. Ayrıca, tuzluluk ve sıcaklık stresi gibi çevresel etkenler de mikroalg hücrelerinde karotenoid sentezini artırmaktadır. Bu faktörlerin kontrollü uygulanmasıyla iki evreli kültür stratejileri geliştirilmiştir: ilk evrede hücre çoğalması, ikinci evrede ise pigment üretimi desteklenmektedir. Farklı besiyeri ortamları, sıcaklık, ışık, pH, azot ve fosfat konsantrasyonu değişimleri ile astaksantin miktarını arttırmak kanser çalışmaları başta olmak üzere pek çok çalışma için önemli bir basamak oluşturmaktadır. Bu derlemede, *H. pluvialis* türünün astaksantin üretim potansiyelini artırmak amacıyla uygulanan farklı kültür koşulları, stres faktörleri ve üretim stratejileri güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Doğal astaksantin üretiminin verimliliğini artırmaya yönelik bu yaklaşımlar, sürdürülebilir ve ekonomik biyopigment üretimi için yol gösterici olabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: *Haematococcus pluvialis*, astaksantin, kültür koşulu

EVALUATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT CULTURE CONDITIONS ON THE MICROALGAE SPECIES *HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS* FOR ENHANCED ASTAXANTHIN PRODUCTION

Dr, Gökçe KENDİRLİOĞLU ŞİMŞEK

Firat University, gksimsek@firat.edu.tr- 0000-0001-8896-2893

ABSTRACT

Astaxanthin is recognized as one of the most potent antioxidants derived from natural sources. Its ability to prevent cellular damage caused by free radicals has made it a valuable compound in dietary supplements, pharmaceuticals, cosmetics, and especially in the aquaculture industry. In this context, the green microalga *Haematococcus pluvialis* is considered one of the most efficient natural sources of astaxanthin from a biotechnological perspective, due to its capacity to accumulate astaxanthin up to 4–5% of its cell dry weight. Therefore, optimizing the culture conditions of *H. pluvialis* to enhance its astaxanthin production potential is of great importance. Astaxanthin synthesis in *H. pluvialis* typically begins during the cyst stage under stress conditions. Thus, careful optimization of the culture environment is required to maximize pigment production. Light intensity and wavelength are among the primary determinants in astaxanthin biosynthesis. Studies have shown that high light intensities ($200\text{--}400\ \mu\text{mol m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) and blue-red light combinations can stimulate astaxanthin accumulation. The effectiveness of stress applications on astaxanthin production is largely dependent on the composition of the growth medium. In particular, limitation or modification of nitrogen and carbon sources, or the use of alternative medium, directs the cells toward carotenoid synthesis. Additionally, environmental factors such as salinity and temperature stress have also been shown to enhance carotenoid production in microalgae cells. Through the controlled application of these factors, two-stage cultivation strategies have been developed: in the first stage, cell proliferation is promoted, while in the second stage, pigment synthesis is enhanced. Increasing astaxanthin content by manipulating different culture media, temperature, light, pH, nitrogen, and phosphate concentrations forms a critical foundation for many studies, particularly in cancer research. This review evaluates the different culture conditions, stress factors, and production strategies applied to increase the astaxanthin production potential of *H. pluvialis* in light of current literature. These approaches aimed at improving the efficiency of natural astaxanthin production serve as a guide for sustainable and cost-effective biopigment production.

Keywords: *Haematococcus pluvialis*, astaxanthin, culture condition

THE PROTECTIVE ROLE OF GRAPE SEED EXTRACT AGAINST IRON-INDUCED TOXICITY IN *ALLIUM CEPA* L.

Dr. Baran SEVEN

TST Rakor Ve Tibbi Aletler San. Ve Tic. Ltd. Şti., baranseven@windowlive.com – 0000-0002-8640-5935

ABSTRACT

Iron (Fe) is a trace element required for a range of metabolic processes; however, its excessive cellular concentration can instigate oxidative stress, compromise DNA integrity, and disrupt cellular homeostasis. The industrial application of fine iron powders, coupled with inadequate waste management, raises the potential for environmental release, particularly into soil and plant matrices. Grape seed extract (GSE), rich in flavonoids and oligomeric proanthocyanidins, has demonstrated the capacity to neutralize reactive oxygen species and mitigate metal ion toxicity. The present investigation aimed to quantify the cytoprotective efficacy of GSE against iron-mediated genotoxicity, employing *Allium cepa* L. as a bioindicator organism.

Onion bulbs were allocated into five treatment conditions: a control group receiving distilled water, a GSE-only group supplied with 250 mg/L GSE, an iron-only group exposed to 50 mg/L Fe powder, a low-dose combined treatment of 250 mg/L GSE and 50 mg/L iron, and a high-dose combined treatment of 500 mg/L GSE and 50 mg/L iron. All groups were maintained under uniform laboratory conditions for a duration of 72 hours. Mitotic index (MI), frequency of micronuclei (MN), and the spectrum of chromosomal aberrations (CAs) were subsequently assessed in root meristematic cells. Additionally, complementary microscopic examination of root anatomical structure was performed to identify potential morphological perturbations.

The data indicated a marked reduction in mitotic index (MI) alongside an elevation in mitotic anomalies (MN) and chromosomal aberrations (CAs) within the iron-only treatment when juxtaposed with control conditions ($p < 0.05$). The identified chromosomal aberrations comprised sticky chromosomes, chromosome bridges, isolated vagrant chromosomes, and disparate chromatin distribution. Co-treatment with grape seed extract (GSE), particularly at the concentration of 500 mg/L, meaningfully mitigated the spectrum of cytogenetic abnormalities. Complementary microscopic examination documented a concomitant decline in anatomical impairments, including deformation of epidermal cells, cortical hypertrophy, and degeneration of vascular tissue.

In summary, the present investigation indicates that grape seed extract confers substantial protective effects against iron-mediated cytogenetic and anatomical damage in plant systems. The results underscore the viability of GSE as a naturally occurring, bio-protective agent within environments subject to metal contamination.

Keywords: Iron powder, *Allium cepa*, grape seed extract, cytogenotoxicity, chromosomal aberrations, plant anatomy

EVALUATION OF THE PROTECTIVE ROLE OF POMEGRANATE SEED EXTRACT AGAINST NICKEL-INDUCED GENOTOXICITY IN *ALLIUM CEPA* L.

Dr. Baran SEVEN

TST Rakor Ve Tibbi Aletler San. Ve Tic. Ltd. Şti., baranseven@windowslive.com – 0000-0002-8640-5935

ABSTRACT

Nickel (Ni) is a dense metallic element widely exploited in electroplating, the fabrication of stainless steel, and the production of rechargeable batteries. The extensive industrial application of nickel is translating into heightened environmental concern. Although nickel compounds possess technological utility, they are recognized for their cytotoxic, genotoxic, and mutagenic effects on living organisms. The current study uses *Allium cepa* L. as an experimental bioindicator to examine how well pomegranate seed extract (PSE), a powerful natural antioxidant, protects against nickel-induced genotoxicity. Bulbs were assigned to five experimental cohorts: a control group (distilled water), a PSE-only group (250 mg/L PSE), a nickel-exposed group (1.2 mg/L NiCl₂), a combined treatment group (250 mg/L PSE + 1.2 mg/L NiCl₂), and a high-dose PSE plus nickel group (500 mg/L PSE + 1.2 mg/L NiCl₂). All groups were maintained under laboratory conditions for 72 hours. Cytogenetic endpoints were assessed in root meristematic tissue, measuring the mitotic index (MI), the incidence of micronuclei (MN), and the frequency of chromosomal abnormalities (CAs). The alkaline Comet assay was employed to quantify DNA fragmentation, and microscopic examinations were conducted to identify alterations in root tissue architecture.

The results indicated that nickel exposure resulted in a significant reduction in mitotic index (MI) while simultaneously raising the incidence of micronuclei (MN) and a range of chromosomal aberrations (CAs), including chromatid stickiness, chromosomal bridges, lagging chromosomes, fragments, and uneven chromatin segregation ($p < 0.05$). Moreover, the Comet assay revealed a marked increase in both the intensity and length of the DNA fragments introduced into the tails of the comet images.

Keywords: Nickel, genotoxicity, *Allium cepa*, pomegranate seed extract, antioxidant, chromosomal aberrations, DNA fragmentation.

A REVIEW ON THE ISOLATION OF BACTERIA FROM *THAUMETOPOEA PITYOCAMPA* (LEP.: THAUMETOPOEIDAE) AND THEIR BIOCONTROL POTENTIAL

Dr. Baran SEVEN

TST Rakor Ve Tibbi Aletler San. Ve Tic. Ltd. Şti., baranseven@windowlive.com – 0000-0002-8640-5935

ABSTRACT

Euzophera pityocampa, the pine processionary moth, represents a significant pest threatened the integrity of Mediterranean pine forests, delivering both ecological detriments and direct economic losses. During the caterpillar phase, the insect ejects urticating bristles that endanger human and livestock health, concurrently depressing tree growth and weakening overall forest resilience. The limitations of synthetic insecticides, notably regarding soil and water contamination and the collateral impact on non-target taxa, have stimulated the search for biologically-based control methods. Among the candidates, entomopathogenic bacteria sustainably sourced from the gut and cuticular surfaces of *T. pityocampa* appear particularly promising for mitigating larval populations without compromising ecological safety.

Within this review, we synthesize data concerning the sampling, phylogenetic resolution and biocontrol assessment of bacteria extracted from *T. pityocampa* corpses and field-collected life stages. Recent surveys have confirmed the prevalence of *Bacillus thuringiensis*, *Serratia marcescens*, *Pseudomonas* spp. and *Enterobacter* spp. Molecular fingerprinting and conventional cultural techniques have confirmed that these taxa harbour insecticidal determinants. *Bacillus thuringiensis* isolates display significant larvicidal potency, attributable to simultaneous spore formation and the secretion of pore-forming Cry-type insecticidal proteins. *Serratia marcescens* and *Pseudomonas* isolates, by contrast, exert mortality through a multi-modal strategy that encompasses visceral damage, secretion of hydrolytic enzymes and suppression of larval immune response, suggesting that these microbial agents could act synergistically in future integrated pest management protocols.

Keywords: *Thaumetopoea pityocampa*, entomopathogenic bacteria, biological control, *Bacillus thuringiensis*, biopesticide, microbial pest management

A REVIEW ON THE IDENTIFICATION OF BACTERIA ISOLATED FROM *XYLEBORINUS SAXESENII* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE)

Dr. Baran SEVEN

TST Rakor Ve Tibbi Aletler San. Ve Tic. Ltd. Şti., baranseven@windowlive.com – 0000-
0002-8640-5935

ABSTRACT

Xyleborinus saxeseni (Coleoptera: Curculionidae) is an invasive ambrosia beetle whose attacks compromise a broad spectrum of woody plant taxa. The insect creates longitudinal galleries in the vascular tissue, where it cultivates symbiotic fungi and harbors a diverse microbiota. Among these microorganisms, bacteria contribute critically to mineral digestion, antagonism of competing microorganisms, and possibly to the beetle's adaptive plasticity in novel environments. Recent investigations indicate that bacteria recovered from *X. saxeseni* not only cohabit the beetle but also secrete metabolites with broad-spectrum insecticidal, antifungal, and possibly antagonistic effects against phytopathogens.

This review synthesizes peer-reviewed findings on the isolation, phylogenetic resolution, and functional examination of bacteria co-associated with *X. saxeseni*. The genera most frequently encountered include *Pseudomonas*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Stenotrophomonas*, and *Bacillus*. The colonizers have been recovered from the intestine, cuticular surfaces, and specialized mycangia. Molecular phylogenetics, particularly the sequencing of the 16S rRNA gene, has clarified their taxonomic position and inferred ecological niche. Complementary to conventional methods such as Gram reaction and substrate utilization tests, novel technologies including matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry and, increasingly, whole-genome sequencing, are being deployed to resolve species boundaries and to illuminate the genomic basis of functional attributes.

Certain isolates have exhibited the capacity to suppress phytopathogens and rival microbial communities, indicating their prospective utility in biological control regimes. Additionally, the breadth of their metabolic capacities—encompassing enzymatic activity, synthesis of secondary metabolites, and antibiotic synthesis—underscores their relevance to both applied and mechanistic investigations.

X. saxeseni-associated bacteria thus constitute a valuable microbial reservoir for advancing inquiry in entomology, microbial ecology, and sustainable pest management. Persistent

examination of these symbionts may yield eco-compatible strategies for regulating forest pests while simultaneously refining our comprehension of insect–microbe relationships.

Keywords: *Xyleborinus saxesenii*, bacterial symbionts, 16S rRNA, microbial identification, ambrosia beetle, biocontrol, insect microbiota

GENETIC STRUCTURE OF *Muscardinus avellanarius* POPULATIONS IN TÜRKİYE BASED ON MITOCHONDRIAL *COI* GENE ANALYSIS

Prof. Dr. Ercüment ÇOLAK

Ankara University,
colak@science.ankara.edu.tr - 0000-0001-5826-1615

Asst. Prof. Dr. Perinçek Seçkinozan ŞEKER

Artvin Çoruh University,
seckinperincek@artvin.edu.tr - 0000-0002-6103-4840

Dr. Engin SELVİ

Ankara University,
eselvi@ankara.edu.tr - 0000-0001-5370-3023

Prof. Dr. Teoman KANKILIÇ

Ömer Halisdemir University,
teomankankilic@gmail.com - 0000-0002-9576-5887

Prof. Dr. Reyhan ÇOLAK

Ankara University,
rcolak@science.ankara.edu.tr - 0000-0003-1031-4073

Prof. Dr. Nuri YİĞİT

Ankara University,
nygt@science.ankara.edu.tr - 0000-0001-8426-2144

ABSTRACT

The hazel dormouse (*Muscardinus avellanarius*), the sole extant species in the genus *Muscardinus*, is a small rodent distributed primarily across Europe and Anatolia, ranging from the British Isles to Russia. It typically inhabits deciduous and mixed woodlands with dense undergrowth, as well as hedgerows, scrubland, and overgrown gardens—often near hazel trees, though not exclusively. Morphological studies in Türkiye have identified two subspecies: *M. a. abanticus* from Abant (Bolu) and *M. a. trapezius* from Coşandere (Trabzon). However, molecular data on *M. avellanarius* populations in Türkiye remain scarce, and their genetic structure is poorly understood. Although the species is currently classified as Least Concern by the IUCN, its populations face significant threats from habitat fragmentation due to forestry, urbanization, and agriculture. Investigating the genetic structure of such species is critical for effective conservation planning and for understanding their evolutionary history. This study aimed to characterize the genetic diversity and population structure of *M. avellanarius* in

Türkiye using mitochondrial *COI* gene sequence analysis. Partial *COI* gene sequences revealed 11 haplotypes, forming two distinct genetic groups: Western and Eastern. The species exhibited high overall haplotype diversity ($Hd = 0.893 \pm 0.038$) and moderate nucleotide diversity ($\pi = 0.01578 \pm 0.00113$), indicating substantial genetic variation. Geographic structuring was evident, with the Western population showing greater genetic diversity ($Hd = 0.859 \pm 0.089$; $\pi = 0.00906 \pm 0.00228$) compared to the Eastern population ($Hd = 0.644 \pm 0.101$; $\pi = 0.00297 \pm 0.00084$). This suggested a larger, more stable, or more connected population in the west, whereas the reduced diversity in the east may reflect historical isolation, smaller effective population size, or past bottleneck events. Mismatch distribution analyses showed multimodal patterns in both subpopulations, typically associated with long-term demographic stability or population structure rather than recent expansion. The high raggedness index in the Eastern population ($r = 0.4632$) supported the notion of a small, potentially isolated population with limited genetic variation. Genetic differentiation between the two regions was pronounced. The Kimura 2-parameter genetic distance ($K2P = 0.0248$) and a high fixation index ($FST = 0.75202$) indicated strong genetic structuring and restricted gene flow between Western and Eastern populations. The low estimated gene flow ($Nm = 0.16$) further supported this conclusion. These findings demonstrated that *M. avellanarius* populations in Türkiye are genetically structured, with the Eastern population appearing more vulnerable due to its lower genetic diversity. As such, the two populations should be considered evolutionarily significant units (ESUs) for conservation, and region-specific strategies should be developed to preserve their genetic integrity. These findings also offered molecular support for the existence of two subspecies previously identified through morphological analysis.

Keywords: *Muscardinus avellanarius*, genetic structure, *COI* gene, Türkiye

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE TEKNOLOJİNİN MALZEME KULLANIMINA ETKİSİ; 3D BASKI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Alper DEMİR

Düzce University, Art, Design and Architecture Faculty, Department of Architecture,

81600 Düzce, Turkey

mimaralperdemir1@gmail.com

ORCID: 0009-0005-9324-2256

Özlem SALLI BİDECI

Düzce University, Art, Design and Architecture Faculty, Department of Architecture,

81600 Düzce, Turkey

ozlembideci@duzce.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9699-6003

ÖZET

Geleceğin mimarisinin temel taşları, mimarlık alanında geleceğe yönelik bir vizyon sunan, sürdürülebilirlik ve teknoloji kavramlarının entegrasyonunu temel alan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, günümüz mimarlık anlayışının sadece estetik kaygıları değil, aynı zamanda çevresel sorumlulukları ve teknolojik gelişmeleri de göz önünde bulundurması gerektiği fikrinden ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir mimarlık, doğal kaynakları korunması, enerji verimliliğinin artırılması, atıkların azaltılması ve çevreye duyarlı malzemeler kullanılması ile binaların çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Teknoloji ise mimarlığa yeni imkânlar sunarken; akıllı binalar, 3D baskı, sanal gerçeklik gibi gelişmelerle binaların tasarımını ve malzeme kullanımını dönüştürmektedir. Bu çalışmada, sürdürülebilirlik ve teknoloji perspektifinden geleceğin mimari anlayışında malzeme kullanımının incelenmesi ve bu malzemelerin 3D baskı teknolojisi ile gelecekte nasıl bir etki bırakacağı ve gelişeceği literatür taraması yöntemi ile incelemektedir. Araştırma; sürdürülebilirlik ve teknolojinin entegrasyonu ile geleceğin mimarisinde 3D baskı teknolojisinin malzeme kullanımı ve değişikliklerini inceleyerek geleceğin tasarımcılarına rehberlik etmek için bir çerçeve sunmaktadır. Sürdürülebilirlik ve teknolojinin mimariye etkisi, gelecekte malzeme kullanımı ve üretim sistemlerinde önemli değişikliklere yol açabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Geleceğin Mimarisi, Sürdürülebilirlik, Mimaride Teknoloji, Malzeme, 3D Baskı Teknolojisi

SUSTAINABILITY AND TECHNOLOGY'S IMPACT ON MATERIAL USAGE: A STUDY ON 3D PRINTING

ABSTRACT

The cornerstones of the architecture of the future represent a forward-looking vision in the field of architecture, based on the integration of the concepts of sustainability and technology. This approach arises from the idea that today's architectural understanding should consider not only aesthetic concerns but also environmental responsibilities and technological developments. Sustainable architecture aims to minimize the environmental impact of buildings by protecting natural resources, increasing energy efficiency, reducing waste, and using environmentally friendly materials. ¹ Technology, on the other hand, offers new possibilities to architecture; developments such as smart buildings, 3D printing, and virtual reality are transforming the design and material use of buildings. In this study, the use of materials in the architectural understanding of the future from the perspective of sustainability and technology is examined, and how these materials will have an impact and develop in the future with 3D printing technology is investigated through a literature review method. The research provides a framework to guide future designers by examining the material use and changes of 3D printing technology in the architecture of the future with the integration of sustainability and technology. The impact of sustainability and technology on architecture can play an important role in future material use and changes, and can lead to new systems in material use production.

Keywords: Architecture of the Future, Sustainability Technology in architecture, Material, 3D Printing Technology

1.GİRİŞ

Mimarlık, insanın çevresini düzenleme sanatı olarak kabul edilirken, günümüzde küresel iklim değişikliği, artan nüfus ve teknolojik gelişmeler gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Bu bağlamda sürdürülebilirlik kavramı, mimari tasarım ve uygulamaların temelini oluşturarak doğal ve yapay sistemler arasındaki dengeyi korumayı ve insanın çevresiyle uyumlu yaşamasını amaçlamaktadır (Korur, 2024).

Sürdürülebilirlik, ekolojik (doğal kaynakların korunması, biyolojik çeşitliliğin devamlılığı, ekosistem dengesi), ekonomik (kaynakların etkin kullanımı, atık azaltımı, ekonomik büyümenin çevresel etkiden bağımsızlaşması) ve sosyal (toplumun gereksinimlerinin karşılanması, adalet, toplumsal denge olmak üzere üç temel boyutta ele alınır (Denek, 2019).

Yirminci yüzyılın sonlarına doğru hızlanan mimari ve teknoloji ilişkisi, ilerleyen bina ve bilişim teknikleriyle mimarının geleceğini şekillendirmeye başlamıştır (Kolarevic, 2003). Günümüzde yapay zeka, nesnelerin interneti (IoT), 3D baskı ve sanal gerçeklik gibi teknolojilerin mimariye entegrasyonu, tasarımcılar ve mühendisler için yeni olanaklar sunmaktadır.

Yeni bir sanayi devrimi olarak nitelendirilen 3D baskı teknolojisi, farklı hammaddelerin katman katman eklenmesiyle bilgisayar destekli tasarım modellerinin somut nesnelere dönüştürülerek katmanların art arda eklenmesi işlemidir ve otomotivden tıba, güvenlikden havacılığa kadar birçok sektörde geniş uygulama alanı bulmaktadır. Kısaca 3D baskı teknolojileri endüstriyel uygulamalar üzerinde geniş bir etki alanına sahiptir (Lipson ve Kurman, 2013). Görsel 1'de sürdürülebilirlik ve teknolojinin mimariye etkisi TECLA Yapıları iç ve dış mekan görselleriyle örneklendirilmiştir.



a) TECLA Dış Mekan



b) TECLA İç Mekan

**Görsel 1. 3D Baskı ile üretilen sürdürülebilir TECLA (Technology ve Clay) Yapıları
(17/03/2025, <https://www.ekoyapidergisi.org>.)**

Bu çalışma, geleceğin mimarisinin sürdürülebilirlik ve teknoloji entegrasyonu ile nasıl şekilleneceğini anlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, malzeme kullanımının evrimi ve özellikle çığır açan bir teknoloji olarak 3D baskının potansiyeli derinlemesine incelenecektir. Sürdürülebilir mimarlığın doğal kaynakların korunması, enerji verimliliği, atık minimizasyonu ve çevreye duyarlı malzeme seçimi gibi temel prensipleri ele alınırken, teknolojik ilerlemelerin

mimariye getirdiği akıllı bina sistemleri, 3D baskı ve sanal gerçeklik uygulamalarının yapı tasarım süreçleri ve malzeme kullanımındaki dönüştürücü etkisi irdelenecektir. Literatür taraması metoduyla yürütülecek bu araştırma, sürdürülebilirlik ve teknoloji perspektiflerinden geleceğin mimari anlayışında malzeme kullanımının geçirdiği evrimi ve bu evrimde 3D baskının kritik rolünü ortaya koymayı hedeflemektedir. Nihai amaç, geleceğin mimar ve tasarımcılarına yol gösterici bir bakış açısı sunarak, sürdürülebilirlik ve teknolojinin mimari üzerindeki çok yönlü etkilerini ve gelecekteki malzeme kullanımında 3D baskının potansiyelini bilimsel bir çerçevede sunmaktır. Başarılı bir entegrasyonun, malzeme üretiminde yenilikçi ve çevreci yaklaşımları destekleyerek daha çevreye saygılı, yüksek performanslı ve özgün yapıların inşasına olanak sağlayacağı vurgulanmaktadır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE TEKNOLOJİ MİMARLIğI

Mimarlık, varoluşundan bu yana insanlığın temel ihtiyaçlarına cevap veren, kültürel değerlerini yansıtan ve yaşadığı çevreyle etkileşim kuran dinamik bir disiplin olmuştur. Ancak 21. yüzyılda, küresel ölçekteki çevresel sorunlar ve teknolojik gelişmeler, mimarlık pratiğini kökten değiştirmekte ve sürdürülebilirlik ile teknolojinin entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Sürdürülebilirlik ve teknolojinin iç içe geçtiği bir çağda, mimarlık disiplini de bu dönüşümden kaçınılmaz olarak etkilenmekte ve yeniden şekillenmektedir (Korur, 2024). Artan küresel nüfus, iklim değişikliği, doğal kaynakların tükenmesi gibi acil çevresel sorunlar, mimarları sadece estetik ve işlevsel yapılar tasarlamamanın ötesine geçirecek, gezegenin geleceğini gözeten, ekolojik ayak izini en aza indiren ve kaynakları verimli kullanan yapılar inşa etmeye yönlendirmektedir (Eko Yapı Dergisi, Erişim Tarihi:14.03.2025). Dolayısıyla, teknolojinin sunduğu inovatif çözümler, sürdürülebilir mimarlık hedeflerine ulaşmada kritik bir rol üstlenmektedir (Ateş Can ve Kurtoglu, 2017).

2.1 EKOLOJİK TASARIM

Mimarlık, tarih boyunca insanlığın temel ihtiyaçlarını karşılarlarken, günümüzde sürdürülebilirlik ve teknolojinin etkileşimi sayesinde yeni bir dönem başlatmaktadır (Korur, 2024). Küresel çevresel sorunlar ve teknolojik gelişmeler, mimarları ekolojik tasarım ilkelerini benimsemeye, yeşil bina tasarımlarını uygulamaya, enerji verimliliğini artırmaya, yenilenebilir enerji kaynaklarını, yapı malzemesi seçimini, sensörler ve yazılımların kullanılmasına ve 3D beton

baskı sistemlerini kullanmaya yönlendirmektedir (Eko Yapı Dergisi, Erişim Tarihi:14.03.2025).

Ekolojik tasarım, projelerin doğal çevreyle uyumunu sağlamayı ve doğal süreçleri entegre etmeyi amaçlarken (Yeang, 2006), yeşil binalar, enerji ve su verimliliği, sağlıklı iç mekanlar ile atık minimizasyonu gibi sürdürülebilirlik ilkelerini somutlaştırır (Erten, 2011). Binaların enerji tüketimini azaltmak için iyi yalıtım, pasif güneş enerjisi sistemleri ve enerji tasarruflu uygulamalar kritik öneme sahiptir. Ayrıca, güneş panelleri ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklar, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır.

Yeşil bina kavramı, günümüzde sürdürülebilirlik ilkesinin mimari ve inşaat sektöründeki en önemli yansımalarından birini oluşturmaktadır. Temelinde, daha az doğal kaynak tüketimi, minimum atık üretimi ve kullanıcıların konforunu ön planda tutan sürdürülebilir yapıları ifade eder. Bu bağlamda, yeşil binaların karakterini şekillendiren üç temel kriter öne çıkmaktadır: atık miktarının azaltılması, enerji verimliliğinin sağlanması ve iç mekan konforu ile kullanıcı sağlığının korunması. Nitekim bu üç önemli unsur, çeşitli yeşil bina sertifikasyon sistemlerinde de ağırlıklı olarak değerlendirilmektedir (Bayat ve Küçükali, 2021). Görsel 2’de ekolojik ve yeşil tasarım uygulaması ile ilgili görsel verilmiştir.



Görsel 2. Ekolojik Tasarım Uygulaması (Görsel yapay zeka ile elde edilmiştir.)

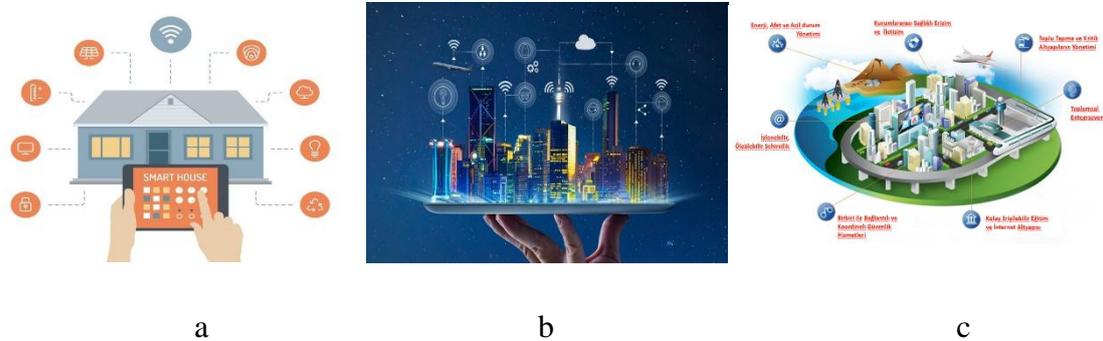
Yapı malzemesi seçimi, çevresel performansı doğrudan etkileyen kritik bir unsurdur. Sürdürülebilir malzemeler, düşük enerji tüketimli üretim süreçleri, geri dönüştürülebilirlik potansiyeli, yerel kaynaklı olmaları ve toksik madde içermemeleri gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır (Güner ve diğerleri, 2017). Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), bir ürünün veya

hizmetin hammaddesinin elde edilmesinden nihai bertarafına kadar olan tüm aşamalarındaki çevresel etkilerini değerlendiren sistematik bir metottur (Avrupa Çevre Ajansı, Erişim Tarihi: 20.03.2025). Dolayısıyla, malzeme seçiminde çevresel etkileri bütüncül bir şekilde değerlendirme imkanı sunan Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) önemli bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Görsel 3’te sürdürülebilir beton yapı malzemeleri örneklendirilmiştir.



Görsel 3: Sürdürülebilir Beton Yapı Malzemeleri(Görsel yapay zeka ile elde edilmiştir.)

Mimarlıkta teknolojinin katkıları arasında, akıllı binalar ve otomasyon sistemleri ön plana çıkmaktadır. Sensörler ve yazılımlar aracılığıyla enerji kullanımı ve bina sistemlerinin otomatik optimizasyonu, hem verimliliği artırmakta hem de kullanıcı konforunu yükseltmektedir (Nematollahi ve diğerleri, 2017). Sanal gerçeklik (VR) ise, malzeme seçimi ve görselleştirme süreçlerinde tasarımcılara ve müşterilere daha bilinçli kararlar alabilmesi için yeni olanaklar sunmaktadır. Görsel 4’te IoT’un sensörler ve yazılımlar aracılığıyla enerji verimliliğinin sağlanması hakkında görsel verilmiştir.



Görsel 4. IoT’un Sensörler Ve Yazılımın Enerji Verimliliği Kullanılması (DEMİR ve SALLI BİDECI, 2024)

3D baskı teknolojisi, inşaat sektöründe malzeme kullanımı ve üretimde önemli bir devrim yaratmaktadır. Daha az malzeme ile karmaşık geometrilerin üretilmesi, atık miktarını azaltırken, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, sürdürülebilir inşaat uygulamaları açısından büyük bir potansiyele sahiptir (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019). 3D baskı, özelleştirilmiş tasarımların hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesini sağlayarak mimarlıkta yeni estetik ve işlevsel imkanlar sunmaktadır (Kolaravic, 2003). Ayrıca yerinde üretim, önceden üretilmiş malzemelere ve uzun nakliye yollarına olan ihtiyacı azaltarak lojistik giderlerini ve zaman kaybını engellemektedir. Bu durum, afet sonrası iyileşme sürecinde kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Geleneksel inşaat metotları bu gibi acil hallerde yetersiz kalabildiğinden hızlı, etkili ve çevreye duyarlı barınma çözümleri sunmak, afet yönetiminin hayati bir parçası olmaktadır (Mehdizade, 2024). Görsel 5'te 3D beton baskı örneği verilmiştir.



Görsel 5. 3D Beton Baskı (09/04/2025, <https://www.ekoyapidergisi.org>.)

3. 3D BASKI TEKNOLOJİSİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ

Yapı sektörü, sürekli yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla gelişimini sürdüren köklü bir alandır. 1900'lerde sanayi ekonomisine geçişle birlikte önemli dönüşümler yaşamıştır (Chen ve diğerleri, 2017). Bu dönemde 1980'lerde keşfedilen 3D beton baskı teknolojisi, katmanlı üretim prensibi sayesinde kalıp ihtiyacını ortadan kaldırmasıyla dikkat çekmektedir (Khajavi ve diğerleri, 2021). Dünyanın çok kullanılan yapı malzemelerinden olan betonun 3 boyutlu baskısı, mimari esneklik sağlarken işçilik maliyetlerini de azaltmakta ve geleneksel yöntemlere oranla %35-%60 daha düşük maliyet sunarak ekonomik avantajlar sağlamaktadır (Chen ve diğerleri, 2017).

Günümüzde sürdürülebilirlik, yalnızca hammadde kullanımını ve çevresel etkileri azaltmanın ötesine geçerek çevresel, ekonomik, ve toplumsal boyutları içeren geniş bir kavram olarak kabul edilmektedir (Bhattacharjee ve diğerleri, 2021). Yapı sektöründe ekolojik ve ekonomik dengelerin kritik bir aşamaya ulaştığı bu dönemde, 3 boyutlu beton baskı teknolojisi sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeliyle dikkat çekmektedir. Geleneksel yapım teknolojilerinin yüksek karbondioksit emisyonları önemli bir sorun teşkil ederken, 3D beton baskı, malzeme tasarrufu sağlayarak ve potansiyel olarak daha az enerji yoğun üretim süreçleri sunarak bu emisyonların azaltılmasına katkıda bulunabilecek bir alternatif oluşturmaktadır (Kloft ve diğerleri, 2020). Ekonomik bir üretim yöntemi olmasının yanı sıra, beton kullanımını azaltma potansiyeline de sahiptir. Dahası, hızlı üretim ve süreklilik sağlayarak zaman açısından da sürdürülebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Toplumsal ölçekte yaygınlaşan 3D beton baskı teknolojisi, yerel üretimi teşvik ederek lojistik kaynaklı karbon emisyonlarını azaltması, atık malzemelerden yeni ürünler ortaya çıkarabilmesi ve kişiselleştirilmiş tasarımlarla aşırı tüketimin önüne geçebilmesi sayesinde önemli bir sürdürülebilirlik potansiyeli sunmaktadır. Ancak, bu alandaki zorluklar arasında henüz standartların olmaması ve geleneksel beton test yöntemlerinin doğrudan uygulanamaması sorunlar arasında yer almaktadır (Çatalkaya, 2023).

3D beton baskı teknolojisi ve sürdürülebilirlik kavramı, modern mimarinin geleceğini şekillendiren birbirine entegre iki önemli unsur olarak düşünülmektedir. 3D baskının sağladığı verimlilik, atık azaltma potansiyeli ve malzeme tasarrufu, sürdürülebilir mimari hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynayabilir. Aynı zamanda, sürdürülebilirlik ilkeleri de 3D beton baskı teknolojisinin gelişim yönünü belirleyerek çevreye duyarlı malzemelerin kullanımını ve enerji verimli üretim süreçlerinin benimsenmesini teşvik eder. Bu iki alanın sinerjik etkileşimi, daha yeşil, ekonomik ve yenilikçi bir yapı sektörünün ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (Confabric, Erişim Tarihi:30.04.2025)

3.1 3D Beton Baskının Sürdürülebilir Mimariye Katkıları

3D beton baskı teknolojisi, modern yapı sektöründe sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması noktasında dönüştürücü bir rol üstlenmektedir (Tarhan ve Şahin, 2019). Bu yenilikçi yaklaşım, geleneksel inşaat metotlarına kıyasla çevresel sürdürülebilirlik alanında önemli avantajlar sunmaktadır. Öncelikle, malzeme kullanımında sağladığı hassasiyet sayesinde, kalıp sistemlerinden kaynaklanan ve genellikle önemli miktarlara ulaşan atık malzemesi sorununu %30 ila %60 oranında azaltarak doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına ve

şantiyelerdeki çevresel yükün hafifletilmesine büyük katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, geleneksel inşaatın enerji yoğun süreçlerine karşılık, 3D beton baskı sistemleri otomatik ve dijital kontrol mekanizmaları sayesinde daha az enerji tükettiği için inşaat projelerinin karbon ayak izinin belirgin şekilde küçülmesine olanak tanımaktadır (Çatalkaya, 2023). Çevreye duyarlı ve geri dönüştürülebilir özelliklere sahip beton karışımlarıyla uyumlu bir şekilde çalışabilmesi, yapı malzemelerinin üretiminden şantiyeye taşınmasına kadar olan süreçteki karbon salınımını da en aza indirmektedir. İnşaat sürecindeki dikkate değer hızlanma ise, projelerin daha kısa sürede tamamlanmasını sağlarken aynı zamanda hem zamandan tasarruf edilmesine hem de enerji tüketiminin azaltılmasına yardımcı olduğu için çevresel etkilerin daha da minimize edilmesi anlamına gelmektedir.

Ekonomik sürdürülebilirlik açısından incelendiğinde 3D beton baskı teknolojisi yapı projelerinde maliyet etkin çözümler sunmaktadır. İş gücü ihtiyacını önemli ölçüde azaltarak, geleneksel yöntemlere kıyasla işçilik maliyetlerinde %50 ila %80'e varan düşüşler sağlayabilmektedir (Çatalkaya, 2023). Aynı zamanda, malzemenin yalnızca ihtiyaç duyulan kadar kullanılması prensibi sayesinde, malzeme israfını önleyerek proje bütçelerine olumlu katkıda bulunmaktadır. Şantiye içi üretimin optimize edilmesi ve yapım süresinin kısalması, genel proje maliyetlerinde de kayda değer azalmalar yaratmaktadır. Geleneksel betonarme yapımında önemli bir maliyet ve zaman unsuru olan kalıp işlerine bu teknolojiye gerek duyulmaması, hem ekonomik kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanır hem de inşaat süreçlerini basitleştirmektedir (Confabric, Erişim Tarihi: 30.04.2025).

Toplumsal sürdürülebilirlik perspektifinden bakıldığında, 3 boyutlu beton baskı teknolojisi de önemli faydalar sunmaktadır. Şantiyelerdeki işçi sayısının azalması, insan hatalarından kaynaklanabilecek iş kazası riskini düşürerek (Kaszynska ve ark., 2020) daha güvenli çalışma ortamları yaratmaktadır. Özellikle doğal afetler gibi acil durumlarda, hızlı ve ekonomik barınma çözümleri üretebilme kapasitesi sayesinde toplumsal dayanıklılığı artırarak mağduriyetlerin giderilmesine yardımcı olmaktadır. (Confabric, Erişim Tarihi: 30.04.2025).

Bu çığır açan teknolojinin potansiyeli, dünya genelinde hayata geçirilen çeşitli projelerle somut bir şekilde gözlemlenmektedir. Örneğin, Birleşik Arap Emirlikleri'nin Dubai şehrinde Apis Cor firması tarafından inşa edilen iki katlı bina, bu teknolojinin karmaşık yapıları dahi mümkün kılabildiğini göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin Teksas eyaletindeki Austin şehrinde ICON firması tarafından 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak inşa edilen

sürdürülebilir köy alanı, bu teknolojinin sadece konut değil, bütün bir yaşam alanı konseptine dönüştürebileceğini ortaya koymaktadır. Avrupa'da ise COBOD firması farklı ülkelerde çok sayıda konut projesini bu yöntemle hayata geçirirken, Peri Grup Almanya'nın Berlin şehrinde yenilikçi yapılar inşa etmektedir. Hollanda'nın Eindhoven şehrinde önerilmeli bisiklet köprüsü ise (Rehman ve Kim, 2021) 3 boyutlu beton baskının altyapı projelerinde de çığır açabileceğini kanıtlamaktadır (Confabric, Erişim Tarihi: 30.04.2025). Bu örnekler, 3 boyutlu beton baskı teknolojisinin sadece bir inşaat yöntemi olmanın ötesinde, sürdürülebilir bir geleceğe doğru atılan önemli bir adım olduğunu açıkça göstermektedir.

3.2 3D Beton Baskıda Kullanılan Sürdürülebilir Malzemeler

Son yıllarda mimarlıkta 3D baskı teknolojisi önemli bir devrim yaratmaktadır. Yapıları daha esnek, çevreci ve estetik kılan bu teknoloji, kullanılan malzemelerle birlikte tasarım ve üretim süreçlerinde yenilikçi çözümler sunarak geleceğin mimarisine yön vermektedir (Erlas, 2025). 3D yazıcılarda kullanılan çeşitli malzemeler (ahşap, plastik, metal, kumtaşı, seramik, kompozit, beton) kendine özgü avantajlarıyla sürdürülebilir ve yaratıcı tasarımların önünü açmaktadır (Erlas, 2025). Teknoloji ilerledikçe malzeme çeşitliliği artmakta ve Stereolitografi (SLA), Seçici Lazer Sinterleme (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM) gibi farklı yazıcı türleri kullanılmaktadır. Filamentler, yaygın 3D baskı malzemeleri olup endüstriyel uygulamalar için geliştirilmeye devam edilmektedir (Topal ve Kavut, 2024).

Polimerler, düşük maliyetleri ve çok yönlü yapıları sayesinde baskıda en yaygın kullanılan malzemelerdir. Karmaşık geometrilere sahip yapılar için sıkça tercih edilmektedir. FDM (Fused Deposition Modelling) teknolojisi kullanılarak 3 boyutlu yapılar oluşturulabilir. Bu teknoloji, termoplastiklerle birlikte çalışır ve parçaların eritilerek katman katman uygulanması esasına dayanır. Dayanıklılık, esneklik ve renk çeşitliliği sunan bu süreçte kullanılan plastikler; PLA (Poliaktik Asit), ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PETG (Polietilen Tereftalat Glikol), HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen), TPU (Termoplastik Poliüretan), PP (Polipropilen) ve PC (Polikarbonat) gibi çeşitli türlerden oluşmaktadır. Son dönemde, 3D baskı teknolojilerinde Poli-eter-eter-eton (PEEK) ve Polimetil metakrilat (PMMA) gibi yüksek erime sıcaklığına sahip termoplastik filamentlerin malzeme olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır (Dizon ve diğerleri, 2018). Ek olarak, sıvı halde veya düşük erime noktalarına sahip polimerler, maliyet etkinlikleri, hafif olmaları ve işleme kolaylıkları nedeniyle 3D baskı sektöründe sıklıkla tercih edilmektedir (Xin ve diğerleri, 2017). Ahşap filamentler, PLA bazlı olup düşük oranda ahşap lifi içerir ve farklı ahşap türlerinin görünümünü taklit edebilmektedir. Sıcaklık ayarlarıyla renk ve doku

değiştirilebilir, ancak yüzeyde zımparalama gerekebilir (Topal ve Kavut, 2024). Bu malzemeler, lif içeriği nedeniyle PLA'ya göre daha hassas ve düşük sıcaklık dayanımına sahiptir.

Metal filamentler ise PLA veya polimerle karıştırılmış metal tozları içererek ve çelik, pirinç, bronz gibi metal görünümüleri sunmaktadır. PLA benzeri özelliklere sahip olup daha sağlam ve parlak baskılar elde edilebilmektedir. Yüksek oranda metal tozu içerebilir ve baskı sonrası yüzey işlemleri uygulanabilmektedir. Estetik ve fonksiyonel parçalar için uygundur (Topal ve Kavut, 2024).

Kumtaşı ise genellikle prototip ve mimari modellerde kullanılmakta olup, birçok renkte üretilmektedir. Düşük mukavemeti ve hassas yapısı dolayısıyla daha çok dekoratif modeller için idealdir. Üretilen parçaların dayanıklılığını artırmak amacıyla genellikle koruyucu epoksi reçine ile kaplanır (Topal ve Kavut, 2024).

Seramikler, temel malzeme olarak kil ile elde edilen ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bir eklemeli üretim yöntemlerinden biridir. Baskı sonrası kurutulup fırınlanarak katılaştıran bu malzemeler, darbe ve yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Akışkan halde farklı geometrilere işlenebilir ve cilalanarak parlatılabilmektedir. Kil kullanımı, geleneksel üretime göre dijitalden fiziğe aktarımda esneklik ve sürdürülebilirlik sunar. Ancak, seramikler ısı sonrası küçülebilir ve ısı işlemler zaman alıcı olabilmektedir. (Topal ve Kavut, 2024).

Kompozitler ise farklı malzemelerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. 3D baskı ile üretilen parçaların sertlik, ısı direnci ve ağırlık gibi özelliklerini etkileyen bu malzemeler, hafif ama sağlam parçalar üretmek için çeşitli lif ve elyafların termoplastiklerle harmanlanmasıyla ortaya çıkmaktadır. Çok yönlülükleri, düşük ağırlıkları ve özelleştirilebilir nitelikleriyle kompozit malzemeler, yüksek performans gerektiren endüstrilerde önemli değişimlere yol açmaktadır (W. Hao, 2018).

Beton, 3D baskı teknolojisi ile mimaride giderek daha fazla yer bulmaktadır. Dayanıklılığı, maliyet etkinliği ve ölçeklenebilirliği sayesinde büyük yapıları hızlı ve verimli bir şekilde inşa etme imkanı sunmaktadır. Özel olarak formüle edilmiş beton karışımları, 3D yazıcıların katman katman uygulama prensibine uygun olarak tasarlanmakta, böylece karmaşık geometrilerin bile kolayca üretilmesi sağlanmaktadır. Betonun 3D baskı süreçlerinde kullanımı, inşaat atıklarını azaltma, iş gücü maliyetlerini düşürme ve daha sürdürülebilir yapıların inşasına olanak tanıma

potansiyeli barındırmaktadır. Bu nedenle, betonun 3D baskı teknolojisindeki rolü, gelecekte inşaat sektöründe giderek daha da önemli hale gelecektir (Topal ve Kavut, 2024).

3D beton baskı teknolojisi; yapı, inşaat ve tasarım sektörlerinde sürdürülebilirlik hedeflerine önemli katkılar sunarak geleceğin mimarisini şekillendirmektedir. Yenilikçi tasarım potansiyeli sayesinde, bu teknoloji temel ihtiyaçlara hızlı çözümler üreterek büyük bir potansiyel taşır. Konut yapımından inşaat elemanlarına (kalıplar, paneller, sütunlar), köprülerden altyapı projelerine, yapay resiflerden mobilya ve heykellere, hatta endüstriyel ürünlere kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Üstelik, insan gücünün zorlayıcı ve riskli olduğu inşaat ortamlarında sunduğu güvenli çözümlerle de önemli bir avantaj sağlamaktadır (Nadarajah, 2018). Görsel 6’da 3D beton inşaat baskısı hakkında görsel verilmiştir.



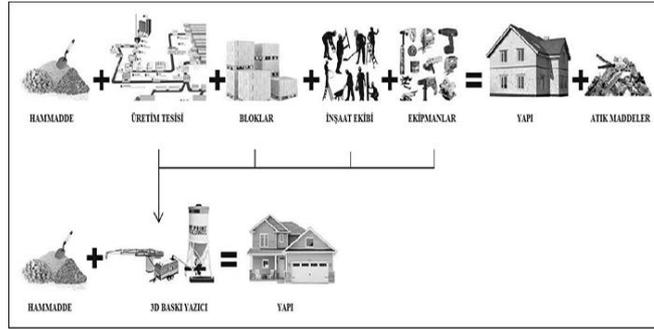
Görsel 6. 3D Beton İnşaat Baskısı (PERI, 2024).

3D baskı mimarisinde kullanılan farklı malzemeler, inşaat sektörünün geleceğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu malzemeler, mimarların yaratıcılıklarını sınırsız bir şekilde hayata geçirmelerine olanak tanırken, daha hızlı, verimli ve çevre dostu yapılar inşa etme potansiyeli sunar. 3D baskı malzemelerinin sağladığı olanaklarla, projeler özgün, estetik ve işlevsel tasarımlara dönüşmektedir. Gelecekte, 3D baskıyla inşa edilen yapılar, şehirlerimizin ve yaşam alanlarımızın ayrılmaz bir parçası haline gelecektir (Erlas, 2024, Erişim Tarihi:02.05.2025)

3.3 Mimari Projelerde 3D Beton Baskıların Kullanımı

Mimari üretimde uygulama aşaması, tasarım sürecindeki hızlı değişime ayak uyduramayarak büyük ölçüde geleneksel yöntemlere bağlı kalmıştır. Dünya genelinde beton, hem yerinde döküm hem de prefabrik olarak temel yapı malzemelerinden biri olma özelliğini sürdürmektedir. Betonun bu denli tercih edilmesinin başlıca sebepleri arasında düşük üretim maliyeti, farklı formlara kolayca kalıplanabilmesi, yüksek ısı yalıtımı ve nispeten yüksek dayanıklılığı sayılabilir. Ancak son yıllarda inşaat sektöründe, özellikle beton teknolojilerinde, 3D baskı teknolojisine olan ilgi giderek artmaktadır. Bunun temel nedenleri arasında geleneksel yöntemlere kıyasla sunduğu tasarım özgürlüğü, inşaat süresini ve insan gücü ihtiyacını önemli

ölçüde azaltması, daha az malzeme israfına yol açması, daha az atık madde üretmesi ve sonuç olarak maliyetleri düşürme potansiyeli bulunmaktadır (Uygunoğlu ve diğerleri, 2019). Görsel 7'de Geleneksel yöntemle ile 3D baskı otomatik yapı üretiminin karşılaştırılma şeması verilmiştir.



**Görsel 7. Geleneksel yöntemle ile 3D baskı otomatik yapı üretiminin karşılaştırılma şeması
(Taylor ve diğerleri, 2003)**

3D baskı teknolojisi aynı zamanda, yerinde inşaat süreçlerinin tek bir aşamada tamamlanmasını kolaylaştırarak inşaat ekipmanlarının taşınması, montaj işlemleri, işçilik maliyetleri ve şantiye kazaları riskini de azaltmaktadır. 3D baskı teknolojiyle otomatik yapı üretiminin ilk adımları 1980'lerde Japon şirketleri tarafından atılmış olup, (Taylor ve diğerleri, 2003) tekil görevleri yerine getirebilen robotlar şantiyelerde beton zemin tesviyesi, sprey boyama, fayans kontrolü ve malzeme taşıma gibi basit işlerde kullanılmıştır. 3D beton sistemlerinin kullanımı ile alakalı House Zero, Doğu 17 Sokak Konutları ve Kamp C projeleri aşağıda verilmiştir.

3.3.1 House Zero (Austin, Teksas)

House Zero, 2000 m²'lik bir alanı kaplayan, 4 yatak odası, 1 yaşam alanı ve 3 banyo içeren, iklime duyarlı bir 3D konut projesidir. Göl kenarında konumlanan bu yapı, özellikle "ağaç duvarı" olarak adlandırılan cephesiyle dikkat çekmektedir. Betonun soğukluğunu gidermek için ahşap elemanların kullanıldığı konutta, duvarlar kavisli bir şekilde inşa edilerek 19 organik formla daha doğal bir görünüm elde edilmiştir (Görsel 8). Yuvarlatılmış köşeler ise evin dolaşım alanlarında daha yumuşak geçişler sağlamaktadır (ICON, 2022).

Evin duvarları, 3D baskı uygulamaları için geliştirilen tescilli bir çimentolu malzeme olan "Lavacrete" kullanılarak, yalıtım ve güçlendirme amacıyla çelik takviyelerle inşa edilmiştir. Bu yapı, 2 haftadan kısa bir sürede basılmıştır (ICON, 2022).



Görsel 8. House Zero dış cephe görseli (ICON, 2022)

Konutta asma katta yer alan pencereler ve ışık rafları, dolaylı gün ışığını en üst düzeye çıkarırken, çatıda bulunan güneş panelleri enerji sağlamaktadır. Isı yalıtım katmanı sağlayan 3D baskılı duvarlardaki iç boşluklar, tesisat döşemeleri için oldukça elverişlidir. Evin duvarları hava geçirmez özelliğindedir. Ayrıca, ahşap iç kaplamalar ve mobilyalar yenilenebilir kaynaklarla dayanıklılığı artırırken, kullanılacağı yüzeye göre tasarlanması sayesinde yapıyla bütünlük ve uyum sağlamaktadır (ICON, 2022).

Açıklıkların yerleşimi ve tasarımında da dikkatli değerlendirmeler yapılmıştır. Örneğin, gündüzleri oturma odasının doğal aydınlatmasını sağlamak için evin doğu cephesi boyunca yer alan yüksek kat pencereleri dahil edilerek yapay ışık ihtiyacı azaltılmıştır (ICON, 2022). Görsel 9’da House Zero konut içi mobilya detayları ve iç mekan görselleri verilmiştir



Görsel 9. House Zero konut içi mobilya detayları ve iç mekan görselleri (Barandy, 2022)

3.3.2 Doğu 17. Sokak Konutları (Austin,Texas)

Austin, Teksas'ta hayata geçirilen dikkat çekici bir konut geliştirme projesi, inşaat sektöründe yenilikçi bir yaklaşım sunan 3D baskı şirketi ICON'un teknolojisiyle öne çıkmaktadır. Doğu Austin'de konumlanan bu proje, Amerika Birleşik Devletleri'nin en dinamik emlak piyasalarından birinde artan konut talebine yanıt vermeyi amaçlamaktadır. ICON'un tescilli 3D baskı teknolojisi kullanılarak inşa edilen bu özel tasarım evler, daha güvenli ve dayanıklı yaşam alanları sunmayı ve atık azaltarak çevresel sürdürülebilirliği hedeflemektedir. Proje kapsamında, açık kat planlarına ve minimalist bir mimari anlayışa sahip dört adet konut bulunmaktadır. Her biri özel bahçesiyle dikkat çeken bu konutların büyüklükleri 84-186 metrekare arasında değişirken, alıcılar 2-4 yatak odası seçeneklerinden birini tercih edebilmektedir (ICON, 2021). Görsel 10'da Doğu 17. Sokak konutlarının dış cephe görseli verilmiştir.



Görsel 10. Doğu 17. Sokak konutlarının dış cephe görseli, (ICON, 2021).

ICON'un web sitesinde belirtildiği üzere, bu özgün konutların zemin katları, geleneksel inşaat malzemelerine kıyasla üstün dayanıklılığa sahip olan "Lavacrete" adı verilen özel bir çimento bazlı malzeme ile inşa edilmiştir. İkinci katlar ise geleneksel yöntemlerle desteklenerek, modern bir dokunuş katan siyah metal kaplama ve sıcak bir ambiyans sunan zengin renkli ahşapla tamamlanmıştır. Yeşil, beyaz ve toprak tonlarının hakim olduğu doğal ve huzurlu bir renk paletiyle tasarlanan bu konutların tamamının kısa sürede satılması, projenin başarısını gözler önüne sermektedir. Logan Architecture tarafından tasarlanan yüksek enerji verimliliğine sahip bu evlerin zemin katlarının inşasında kullanılan gelişmiş malzeme sayesinde, 3D baskı teknolojisiyle inşa edilen yapılar, geleneksel yöntemlere göre daha güçlü ve uzun ömürlü bir yapıya sahip olmaktadır. Bu yenilikçi teknoloji, yangın, sel, rüzgar ve diğer doğal afetlere karşı

geleneksel yöntemlerle inşa edilen evlere kıyasla daha yüksek bir direnç, güvenlik ve dayanıklılık sunarak yaşam alanlarını güvence altına almaktadır (Becher, 2024). Görsel 11’de Doğu 17. Sokak konutlarının iç mekan görseli verilmiştir.



Görsel 11. Doğu 17. Sokak konutlarının iç mekan görseli (ICON, 2021).

3.3.3 Kamp C (Belçika)

Belçika'da yer alan Kamp C, Temmuz 2020'de Avrupa'nın dikkat çeken bir ilk örneklerinden olarak, yerinde 3D baskı teknolojisiyle inşa edilen iki katlı bir evi tanıtmıştır. Sekiz metre yüksekliğe ve 90 metrekarelik bir taban alanına sahip olan bu yenilikçi konut, COBOD' un gelişmiş BOD2 yazıcısıyla sadece üç hafta gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Proje yöneticisi Emiel Ascione'nin vurguladığı gibi, “bu evi benzerlerinden ayıran en önemli özelliği sabit bir 3D beton yazıcı kullanılarak tüm bina zarfının tek parça halinde yerinde basılmış olmasıdır.” Dünyanın farklı yerlerinde 3D baskıyla üretilen diğer konutların genellikle tek katlı olduğu veya fabrikada basılan bileşenlerin yerinde monte edildiği düşünüldüğünde, Kamp C'deki bu uygulama çığır açan bir yaklaşımı temsil etmektedir (Cobod, Erişim Tarihi:05.05.2025).

İnşa sürecinde betondaki liflerin yanı sıra minimum düzeyde tel örgü takviyesi kullanılması, baskı teknolojisinin sunduğu avantajlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu sayede geleneksel inşaat yöntemlerinde zorunlu olan kalıplara ihtiyaç duyulmamış, bu da malzeme, zaman ve bütçe açısından yaklaşık yüzde altmış oranında bir tasarruf sağlanmasına olanak tanımıştır (Cobod, Erişim Tarihi:05.05.2025). Geliştiricilere göre, bu 3D baskılı evin geleneksel yöntemlerle inşa edilen benzerlerinden üç kat daha fazla basınca dayanıklı olmasının ana nedeni, COBOD'un özel 3D baskı yazıcısıdır. Pürüzsüz yüzeyler ve kalın katmanlar, yapının dayanıklılığını ve özgün karakterini arttırmaktadır. Sürdürülebilir tasarım ilkelerinin

benimsendiği bu örnek evde, güneş panelleri ve bir ısı pompası aracılığıyla sağlanan düşük enerjili zemin ve tavan ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Kamp C'deki bu proje, 3D baskı teknolojisinin konut inşaatında sunduğu potansiyeli somut bir şekilde gözler önüne sererek, daha hızlı, ekonomik, dayanıklı ve çevreci yapılar inşa etme yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir (Becher, 2024). Görsel 12'de Kamp C Dış cephe görseli verilmiştir.



Görsel 12. Kamp C Dış Cephe Görseli (Deezen)

4.SONUÇ

Mimarlık, 21. yüzyılın dinamik koşulları altında, küresel çevresel sorunlar ve hızlı teknolojik gelişmelerin etkisiyle kapsamlı bir dönüşüm içindedir. Artık sadece estetik ve işlevsellikten ibaret olmayan bu disiplin, sürdürülebilirlik ilkeleri ve teknolojik yenilikleri de barındırmaktadır. Nüfus artışı, iklim değişikliği ve doğal kaynakların azalması gibi acil meseleler mimarları; ekolojik tasarım prensiplerini benimsemeye, yeşil bina konseptlerini hayata geçirmeye ve enerji verimliliğini artırmaya yöneltmektedir. Bu süreçte, yapı malzemesi seçiminden enerji sistemlerine kadar her aşamada çevresel etkilerin azaltılması ve doğal kaynakların korunması zorunlu hale gelmiştir.

Teknoloji mimarlığı, tasarım ve uygulama süreçlerinde yenilikler sunmaktadır. Yapay zeka, nesnelerin interneti ve sanal gerçeklik gibi araçlar, mimarların bilinçli kararlar almasını, karmaşık tasarımları görselleştirmesini ve binaların performansını optimize etmesini mümkün kılmaktadır. Özellikle 3D baskı teknolojisi, inşaat sektöründe malzeme kullanımını ve üretim tekniklerini köklü bir şekilde değiştirme potansiyeline sahiptir. Daha az malzeme ile karmaşık formların üretilmesi, atık miktarının azaltılması ve geri dönüştürülebilir malzemelerin entegrasyonu, sürdürülebilir inşaat uygulamaları açısından büyük bir umut taşımaktadır. 3D baskı yalnızca konut değil, aynı zamanda sürdürülebilir yaşam alanları yaratmaktadır.

Araştırılan projeler arasında yer alan House Zero, Doğu 17. Sokak Konutları ve Kamp C, 3D beton baskının konut inşasında sağladığı hız, maliyet etkinliği, tasarım esnekliği ve çevresel faydaları somut bir şekilde göstermektedir. Bu yapılar, geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha az atık üretimi, daha düşük iş gücü gereksinimi ve potansiyel olarak daha dayanıklı yapılar sunarak geleceğin inşaat anlayışına ışık tutmaktadır.

3D beton baskı teknolojisinin sürdürülebilir mimarideki potansiyelinden tam anlamıyla faydalanmak için, malzeme araştırmaları teşvik edilmeli ve malzeme çeşitliliği artırılmalıdır. Geri dönüştürülmüş ve çevre dostu yapı malzemelerinin 3D beton baskıda kullanımının yaygınlaştırılması ve bu alandaki standartizasyon süreçlerinin hızlandırılması gerekmektedir. Ayrıca, 3D beton baskıyla üretilen yapı elemanlarını değerlendirecek güvenilir test yöntemleri geliştirilmesi üzerine çalışılmalıdır. Mimarlık eğitimi müfredatlarına sürdürülebilirlik ilkeleri ve dijital teknolojilerin entegrasyonu daha derinlemesine dahil edilerek geleceğin mimarları ekolojik bilinç, teknolojik okuryazarlık ve disiplinlerarası işbirliği becerileriyle donatılmalıdır. Tüm bu çabalar sonucunda, mimarların sürdürülebilirliği sadece bir mecburiyet olarak değil, aynı zamanda yaratıcılıklarını harekete geçiren, ilham veren ve yenilikçi çözümler geliştirmelerine fırsat sunan bir olanak olarak benimsemeleri, daha yaşanabilir ve çevre dostu bir geleceğin yaratılması açısından son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

Ateş Can, S., & Kurtoğlu, D. (2017). Sürdürülebilir Mimari Kapsamında Geliştirilen Teknoloji ve Ürünler. *Süleyman Demirel Üniversitesi Yalvaç Akademi Dergisi*, 2(2), 22-31.

Avrupa Çevre Ajansı. (t.y.). *Life cycle assessment*. Erişim tarihi: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/life-cycle-assessment>

Barandy, K. (2022, 2 Mart). *Design Boom*. Why 3D print a house? step inside the completed 'house zero' to find out. Erişim tarihi: 2 Mayıs 2025, <https://www.designboom.com/architecture/3d-printedhouse-zero-icon-lake-flato-austin-texas-01-02-2022/>

Bayat, F., & Küçükali, U. F. (2022). Sürdürülebilirlik bağlamında yeşil binaların ulusal ve uluslararası örnekler üzerinden incelenmesi. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 16(64), 321-347.

Becher, B. (2024, 14 Ekim). *Built In*. 12 Examples of 3D-Printed Homes. Erişim tarihi: 4 Mayıs 2025, <https://builtin-com.translate.google.com/articles/3d-printed-house? x tr sl=en& x tr tl=tr& x tr hl=tr& x tr pto=tc>

Bhattacharjee, S., Basavaraj, A. S., Rahul, A. V., Santhanam, M., Gettu, R., Panda, B., Schlangen, E., Chen, Y., Copuroglu, O., Ma, G., Wang, L., Beigh, M. A. B., & Mechtcherine, V. (2021). Sustainable Materials for 3D concrete printing. *Cement and Concrete Composites*, 122, 104156. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104156>

Chen, Y., Veer, F., & Çopuroğlu, O. (2017). A Critical Review of 3D Concrete Printing as a Low CO2 Concrete Approach. *HERON*, 62(3), 167-194.

COBOD. (n.d.). *Kamp C*. Erişim Tarihi 5 Mayıs 2025, <https://cobod.com/projects-customers/kamp-c/>

Confabric. (t.y.). *3D Beton Baskı ile Sürdürülebilir Yapılar İnşa Etmek: Çevre Dostu Çözümler*. Erişim tarihi: 30 Nisan 2025, <https://confabric.com/tr/3d-beton-baski-ile-surdurulebilir-yapilar-insa-etmek-cevre-dostu-cozumler>

ÇATALKAYA, Z. B. (2023). *3D Beton Yazıcı Teknolojisinin Dünya'daki Mevcut Durumu* (Yüksek Lisans Tezi). Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.

Denek, S. (2019). Sürdürülebilir kalkınmadan sürdürülemez çevreye doğru: Çevre – kalkınma ikilemi. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3), 816-842.

Dizon, J. R. C., Esperanza Jr, A. H. E., Chen, Q., & Advincula, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive Manufacturing*, 20, 44-67.

Eko Yapı Dergisi. (t.y.). Erişim tarihi: 14 Mart 2025, <https://www.ekoyapidergisi.org>

Erlas. (2025, 2 Mayıs). *3D Baskı Mimarisinde Kullanılan Malzemeler*. Erişim tarihi: 2 Mayıs 2025, <https://confabric.com/tr/3d-beton-baski-ile-surdurulebilir-yapilar-insa-etmek-cevre-dostu-cozumler>

Erten, D. (2011). *Yeşil Binalar, Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları V*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Güner, C., Gökşen, F., & Koçhan, A. (2017). Sürdürülebilir Kalkınma Modeli için Çevre Duyarlı Yapılarda Malzeme Seçiminin İncelenmesi. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 3(2), 1-14.

Haoa, W., & Li, Y. (2018). Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composite. *Polymer Testing*, 65, 29–34.

Holt, C., Edwards, L., Keyte, L., Moghaddam, F., & Townsend, B. (2019). Construction 3D Printing. İçinde J. G. Sanjayan, A. A. Nazari ve B. Nematollahi (Yay.), *3D Concrete Printing Technology* (s. 349-370). Butterworth-Heinemann.

ICON. (2021). *ICON Newsroom: "3Strands Announces Country's First 3D-Printed Homes for Sale"*. Erişim tarihi: <https://www.iconbuild.com/newsroom/3strands-announces-countrys-first-3d-printed-homes-for-sale>

ICON. (2022, 3 Şubat). *Ev Sıfır*. Erişim tarihi: 2 Mayıs 2025, <https://www.iconbuild.com/projects/house-zero>

Kaszynska, M., Skibicki, S., & Hoffman, M. (2020). 3D Concrete Printing for Sustainable Construction. *Energies*, 13(23), 6351. <https://doi.org/10.3390/en13236351>

Khajavi, S. H., Tetik, M., Mohite, A., Peltokorpi, A., Li, M., Weng, Y., & Holmström, J. (2021). Additive Manufacturing in the Construction Industry: The Comparative Competitiveness of 3D Concrete Printing. *Applied Sciences*, 11(9), 3865. <https://doi.org/10.3390/app11093865>

Kloft, H., Empelmann, M., Hack, N., Herrmann, E., & Lowke, D. (2020). Reinforcement strategies for 3D-concrete-printing. *Civil Engineering Design*, 2(4), 131-139.

Kolarevic, B. (Ed.). (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Spon Press.

Kopkallı-Yavuz, H. and Mutlu, M. E. (2009). Does frequency of online support use have an effect on overall grades? *The Turkish Online Journal of Distance Education*, 10 (2). <http://tojde.anadolu.edu.tr/> (Erişim tarihi: 18.11.2009)

Korur, Z. N. (2024). Mimarlıkta Sürdürülebilirliğin Öneminin Yeniden Yorumlanması. *Kent Akademisi*, 17(5), 2081-2102. <https://doi.org/10.35674/kent.1434768>

Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons.

Mehdizade, A. (2024). *Afet Sonrası Kalıcı Konutlar İçin İleri Teknolojilerle Entegreli Esnek, Uyarlanabilir ve Sürdürülebilir Model Önerisi* (Doktora Tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

Nadarajah, N. (2018). *Development of concrete 3D printing masters in Building Technology*. Aalto University.

Özbek, K., Çakı, M. ve AY, N. (2001). Pişmiş Toprak Bünyelerde CaO ve Fe₂O₃'ün Etkileri. *1. Uluslar arası Pişmiş Toprak Sempozyumu*, 86-87, Eskişehir.

PERI. (2024). *3D Printing Solutions*. Erişim tarihi: 2 Mayıs 2025, <https://www.peri3dconstruction.com/en>

Prudence, M.R. (1987). *Pottery Analysis*. The University of Chicago Press/Chicago and London.

Rehman, A. U., & Kim, J. H. (2021). 3D Concrete Printing: A Systematic Review of Rheology, Mix Designs, Mechanical, Microstructural, and Durability Characteristics. *Materials*, 14(14), 3800. <https://doi.org/10.3390/ma14143800>

Taylor, M., Wamuziri, S., & Smith, I. (2003). Automated construction in Japan. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Civil Engineering*, 156(1), 34-41.

Topal, S., & Kavut, İ. E. (2024). Mimari Tasarımda Üç Boyutlu Baskı Teknolojisinin Örnekler Üzerinden İncelenmesi. *Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3(1), 13-26.

Uygunoğlu, T., Özgüven, S., & Topçu, İ. B. (2019). 3D TEKNOLOJİSİ İLE YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDEKİ GELİŞMELER. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(3), 279-288.

Uygunoğlu, T., Özgüven, S. B., & Topçu, İ. B. (2019). 3D teknolojisi ile yapı malzemesi üretimindeki gelişmeler. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(3), 279-288.

Xin, W., Man, J., Zuowan, Z., Jihua, G., & David, H. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442-458.

Yeang, K. (2006). *Ekotasarım "Ekolojik Tasarım Rehberi"* (S. Eryıldız & D. Eryıldız, Çev.). Yem Yayın.

ZERO WASTE APPROACH TO INDUSTRIAL WASTE: A CURRENT ANALYSIS

Zilan KAYA

Ataturk University, Institute of Science
Department of Environmental Engineering, Erzurum, 25240, Türkiye
zilanskaya97@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-8124-4714

ABSTRACT

A growing population and the parallel, ever-increasing supply and demand processes have led to increased industrial activity. The result of this recurring situation is the produce of large quantities waste. The notion of "waste," describe as item that must be thrown of, left in the environment, or discarded, requires management because of prevent pollution and reduce risks. It must be managed consistently with appropriate methods as result of the damage it will cause to nature. The zero waste system, considered current and important waste management method, encompasses many objectives, including preventing at the beginning of pollution, decreasing the volume of wastes, minimizing waste that needs to be disposed of and guarding ecolife. To avoid danger ecological balance, the zero waste system must be implemented and its sustainability have to provided. In industries that generate various sorts and great many quantity of waste, waste management is important for energy and cost productivity. The harm caused by industrial waste is quite great. Zero waste practices, highly valued globally, also being prioritized in Turkey for all areas, including industrial facilities. The purposed of study evaluate waste generated in industrial facilities and their management from zero-waste perspective. This study was based on literature research, data reported by TUIK and ministries. The research analyzed of the zero waste system and details, the various sorts of waste produced by industry facilities, the circumstate of management strategies. Negative situations were specified. Advices were made for the established negatives. The advantages of the zero waste system were cited.

Keywords: Industry, Waste, Zero Waste.

SOME PLANT TAXA CAN BE USED AS NOISE-BREAKS

Prof. Dr, Banu KARAŞAH

Artvin Çoruh University,

banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313

Assoc. Prof. Dr, Aslihan TIRNAKÇI

Nevşehir Hacı Bektaş Veli University,

aslihanerdogan@nevsehir.edu.tr- 0000-0002-0122-5637

ABSTRACT

The increasing number of people and vehicles in our cities unfortunately creates noise pollution, which is an environmental problem. Noise pollution, which is accepted as a serious pollution by the WHO (World Health Organization), has negative effects on human health physically, psychologically, physiologically and on individuals' work performance. It has also been proven by studies that green areas have important effects on reducing these impacts. Being an important component of green spaces, plants are living materials that provide aesthetic, functional and ecological benefits to cities and citizens. In this study, it was aimed to evaluate 10 plant taxa that may be effective in providing noise control in our cities. In the selection of these taxa, not only their functional properties (noise screen, shade, space creation, focus, etc.) but also their aesthetic (leaves, flowers, fruits, etc.) and other uses (medicinal, hedges, etc.) were taken into consideration. Plants of different sizes (trees, shrubs, shrubs) and different growth forms (evergreen, deciduous) were selected to further reduce noise and to provide this control in 4 seasons. Within the scope of the study, the characteristics of these plant taxa were revealed and suggestions for plant compositions that can be created with these taxa were proposed.

Keywords: Noise control, plants, plant compositions.

1. INTRODUCTION

The 21st century's changing needs and technological developments, industrialization, migration and rapid population growth in cities are disrupting the natural and cultural ecosystem of cities and creating adverse environmental conditions in livable environments. Especially the increase in the number of people living in our cities and the increase in motor vehicles has created an environmental problem called noise pollution.

Noise pollution is defined as an environmental and health problem that has an impact on the emergence of various physical and psychological problems in people's lives (Vidyasagar and Rao, 2006; Georgiadou et al., 2004; Bayramoğlu, 2014). Noise pollution, which is defined in the Dictionary of Environmental Terms as “undesirable, undesired sounds that have physiologically and psychologically negative effects on people”, is one of the environmental and health problems in question nowadays (Keleş and Ertan, 2002). Exposure to noise at a level that causes dissatisfaction or disgust, which may lead to sabotage of human movements, is known as noise pollution (Bhanap, 2013, Cansaran, 2019). The increase in noise levels in the natural environment due to human activities that produce sounds harmful to living organisms is defined as noise pollution (Slabbekoorn, 2019; Sava et al., 2025). Noise pollution ranks second among the problems that can cause health issues according to the WHO (Tercan and Yaman, 2021; Coşkun et. al., 2022; Sava et al., 2025) and is considered to be the third most serious form of pollution after air and water pollution (Khilman, 2009; Maleki and Hosseini, 2011). The adverse effects of noise on human health include physical effects (such as hearing loss), physiological effects (such as high blood pressure and rapid heartbeat) (Franssen et al., 2002), psychological effects (such as insomnia, delayed sleep onset, and irritability) (Morrell et al., 1997), and effects on work performance (such as decreased work efficiency and hearing impairment) (Evans and Hygge, 2000; Burns, 1979; Bayramoğlu, 2014). Green spaces and plants play an important role in minimizing these effects. Studies have shown that these effects are reduced. For example, Yang et al. (2011) have shown that green spaces have a stress-reducing effect on electroencephalograms. Renterghem et al. (2016) found that viewing outdoor plants reduced noise annoyance among people living near busy roads. Dzhambov and Dimitrova (2015) investigated the relationship between the psychological noise reduction effects of green spaces and personal noise sensitivity and the relationship between urban residential green spaces and mental health (Dzhambov et al., 2018). They found that the negative effects of road traffic noise on mental health may increase in areas without any plantings (Asakura, 2024).

Plants provide psychological benefits to individuals by offering different landscapes with their physical characteristics (leaves, flowers, bark, branches, fruits, etc.), while also contributing functionally by providing shade, separating spaces, creating spaces, and preventing air pollution, visual pollution, and noise pollution, etc.

Noise control is the process of reducing noise emitted from any sound source to an acceptable level, changing its acoustic properties, reducing its duration, or masking it with another sound that is more pleasant or less disturbing, thereby completely eliminating its harmful effects or reducing them to a reasonable level (Anonymous, 1999; Önder and Gülgün, 2010). Measures are taken to control noise using inanimate and living materials. At this point, plants that develop and change over time are important as living materials.

The characteristics sought in plants used for noise reduction can be listed as follows.

- With fairly large and stiff leaves
- Leaves should be perpendicular to the direction of sound and arranged so that they overlap each other.
- Plants with a dense leaf structure.
- Species that do not shed their leaves in winter,
- Plants with dense branches and leaves extending to the ground,
- Plants that form dense rows,
- Plants that are tall in addition to the above characteristics (Finke, 1980, Önder and Gülgün, 2010).

This study aims to evaluate some plant taxa that could be used as noise-breaks.

2. MATERIAL and METHOD

The material for the study consists of 10 plant taxa. These plants were selected not only for their functional characteristics but also for their aesthetics. Plants are used in planting design for functions such as creating spaces, separating spaces, slope stabilization, providing shade, fruit, noise control, concealing unwanted views, preventing air pollution, etc. This study also revealed other functional uses in addition to noise control. In addition, identity cards were created for the selected plant taxa, and information on their aesthetic characteristics and other uses was also provided (Table 1).

Table 1. An Example of Identity card of plant taxa

| Scientific name of taxa | Noise reduction value | Family | Growth form | Size | Aesthetic properties | Other uses |
|-------------------------|-----------------------|----------|-------------|------|--------------------------------|---|
| <i>Taxus baccata</i> L. | 0-2 dB | Taxaceae | Evergreen | Tree | Leaf, fruit, form, and texture | Hedge, attracting wildlife, medicinal use |

Detailed information about the species were obtained from various printed and electronic sources and plant databases (Akkemik, 2014a; Akkemik, 2014b; PFAF, 2025; WFO Plant List, 2025).

3. RESULTS

Images of 10 plant taxa (*Acer psedoplatanus*, *Crataegus monogyna*, *Fagus sylvatica*, *Ilex aquifolium*, *Pyracantha coccinea*, *Syringa vulgaris*, *Spirea x vanhouttei*, *Taxus baccata*, *Tilia cordata*, *Viburnum rhytidophyllum*) are shown in Figure 1.

Two of the plant taxa evaluated in the study can reduce noise by 0-2 dB, two by 2-4 dB, one by 4-6 dB, three by 6-8 dB, one by 8-10 dB, and one by 10-12 dB. Six of these plant taxa are deciduous, while four are evergreen. Although the plants individually reduce noise to certain decibels, as mentioned above, noise control can be achieved at higher decibels by creating compositions that provide a layering effect. With this goal, four of the taxa selected for the study were trees, two were small trees, and four were shrubs. The selected taxa have aesthetic features such as leaves, flowers, and fruits. For example, *Taxus baccata*, which is evergreen, is

impressive in its form. It reduces noise by 0-2 dB, attracts wildlife, has medicinal uses, and can be used as a hedge and espalier (Table 2).



Figure 1. Ten plant taxa evaluated in the study (URL-1-10, 2025)

Crataegus monogyna, which attracts attention with its white flowers, reduces noise by 2-4 dB while also having edible fruits, attracting wildlife, having medicinal uses, and being usable as a hedge. *Syringa vulgaris*, which also has purple fragrant flowers, reduces noise by 6-8 dB, attracts wildlife, has medicinal uses, and can be used as a hedge. *Viburnum rhytidophyllum*, an evergreen shrub with white flowers, can reduce noise by 8-10 dB, attracts wildlife, and can be used as a hedge. *Acer pseudoplatanus*, which can reduce noise by 10-12 dB, is notable for its autumn foliage and also has medicinal uses (Table 2). In addition, five of the ten taxa selected for the study (*Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica*, *Pyracantha coccinea*, *Taxus baccata*, *Tilia cordata*) are also naturally distributed in our country. The use of natural species in compositions reduces maintenance costs and offers easy adaptation opportunities.

Table 2. Identity cards of 10 plant taxa

| Scientific name of taxa | Noise reduction value (Özer et al., 2008; Önder ve Gülgün,2010) | Family | Growth form | Size | Aesthetic properties | Other uses (PFAF, 2025) |
|---------------------------------|---|-------------|-------------|------------|----------------------|--|
| <i>Acer pseudoplatanus</i> L. | 10-12 dB | Sapindaceae | Deciduous | Tree | Leaf, form | Medicinal use. |
| <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. | 2-4 dB | Rosaceae | Deciduous | Small tree | Flower, fruit | Attracting wildlife medicinal use, edible fruits, hedge. |
| <i>Fagus sylvatica</i> L. | 6-8 dB | Fagaceae | Deciduous | Tree | Leaf, form | Attracting wildlife |

| | | | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|-----------|-------|-------------|---|
| | | | | | | medicinal use, hedge. |
| <i>Ilex aquifolium</i> L. | 6-8 dB | Aquifoliaceae | Evergreen | Shrub | Leaf, fruit | Attracting wildlife medicinal use, hedge. |

Table 2 continued.

| Scientific name of taxa | Noise reduction value (Özer et al., 2008; Önder ve Gülgün, 2010) | Family | Growth form | Size | Aesthetic properties | Other uses (PFAF, 2025) |
|--|--|-------------|-------------|------------|----------------------|---|
| <i>Pyracantha coccinea</i> M.Roem. | 2-4 dB | Rosaceae | Evergreen | Shrub | Fruit | Attracting wildlife, hedge. |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | 6-8 dB | Oleaceae | Deciduous | Small tree | Flower | Attracting wildlife medicinal use, hedge. |
| <i>Spiraea x vanhouttei</i> (Briot) Zab. | 0-2 dB | Rosaceae | Deciduous | Shrub | Flower, form | Attracting wildlife hedge. |
| <i>Taxus baccata</i> L. | 0-2 dB | Taxaceae | Evergreen | Tree | Form, Fruit | Attracting wildlife medicinal use, hedge, espalier. |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | 4-6 dB | Malvaceae | Deciduous | Tree | Leaf, form | Attracting wildlife, edible leaves, medicinal use. |
| <i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl. | 8-10 dB | Viburnaceae | Evergreen | Shrub | Flower | Attracting wildlife, hedge. |

Planting design is the creation of a space by combining plants for one or more specific purposes, considering their physical characteristics and ecological requirements. Although the main objective of this study is to provide recommendations on plants for noise control, it also aims to reveal how the selected plants can be used for different purposes. For example, *Fagus sylvatica* is not only a good noise-break plant but also reduces the pressure of buildings on citizens when used as urban trees, can be used to create emphasis with its autumn colours, provides a microclimatic environment by creating shade, and can be evaluated for its guidance function when used as an alley. Another good noise-break plant, *Ilex aquifolium*, can be used to divide areas or spaces, delimit spaces, guide individuals, and screen areas or objects due to its prickly leaves and suitability as a hedge. *Pyracantha coccinea*, a good emphasis plant and hedge with contrasting colours in its leaves and fruits (green-red), is one of the species that can be used to divide areas or spaces, delimit spaces, direct individuals, screen areas or objects, and control noise. *Spiraea x vanhouttei*, one of the species that can be evaluated for noise control, can be used to create emphasis with its showy white flowers, to divide areas or spaces, to delimit spaces, to guide individuals, and to screen areas or objects. *Tilia cordata*, a good shade plant that can also be used for wind control, is a good background plant highlighting objects or other plants when used as an urban tree for changing scale, screening areas or objects, creating emphasis with its form, and, as well as being a good noise-break plant (Table 3).

Table 3. Functional characteristics of selected plant taxa

| Scientific name of taxa | Dividing areas or spaces | Changing scale | Limitation | Redirection | Screening | Emphasis | Shading and wind control | Background | Air pollution control | Noise control |
|--|--------------------------|----------------|------------|-------------|-----------|----------|--------------------------|------------|-----------------------|---------------|
| <i>Acer pseudoplatanus</i> L. | | * | | * | * | * | * | * | * | * |
| <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. | | | * | * | * | * | * | | * | * |
| <i>Fagus sylvatica</i> L. | | * | | | * | * | * | * | * | * |
| <i>Ilex aquifolium</i> L. | * | | * | * | * | * | | | * | * |
| <i>Pyracantha coccinea</i> M.Roem. | * | | * | * | * | * | | | * | * |
| <i>Syringa vulgaris</i> L. | | * | | | * | * | | | * | * |
| <i>Spiraea vanhouttei</i> (Briot) Zab. | * | | * | * | * | * | | | * | * |
| <i>Taxus baccata</i> L. | * | * | * | * | * | * | | * | * | * |
| <i>Tilia cordata</i> Mill. | | * | | | * | * | * | * | * | * |
| <i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl. | * | | | | * | * | | | * | * |

4. CONCLUSION

Plants provide habitat not only for cities and citizens but also for other living things. Thus, they offer spaces for interaction between humans and humans and humans and animals. Plants are of vital importance in our world thanks to their aesthetic, functional and ecological functions. In this study, 10 plant taxa that can be evaluated for their aesthetic and other functional features as well as providing noise control were examined.

Plants are dynamic materials as they change (fall, flowering, etc.) and develop over time. Although they fulfil certain functions individually, when they are used in groups or in compositions with other plants (deciduous-evergreen combination), it will be more possible to fulfil these functions throughout the year. At this point, it is important to create compositions by considering the mass-void effect. In this study, 4 evergreen and 6 deciduous taxa were selected.

Suggestions for compositions that can be created with the identified taxa within the scope of the study are given in Table 4. In suggestion 1 and 2, a combination of tree-small tree-shrub species is used to create layering and to prevent noise more. In addition, in both suggestions, continuity in aesthetic features is ensured in the leaves with coloration in the autumn season and in the flowers in the spring. In both suggestions, an evergreen-deciduous balance is achieved, and noise is blocked for 4 seasons. In suggestion 1, plants with leaf, fruit and flower aesthetics and in suggestion 2, plants with leaf, flower and fruit aesthetics were selected. In suggestions 3 and 4, tree and shrub species are used. In both suggestions, the evergreen-deciduous balance and the continuity of the noise-break are ensured. In suggestion 3, the

aesthetic image that starts with the coloration of leaves in autumn continues in fruits from late autumn to early spring. In suggestion 4, the fruit aesthetics that are effective in the fall season are replaced by flower aesthetics in the spring.

Table 4. Composition suggestions with the 10 chosen taxa

| | Plant species | Aesthetic properties | Noise reduction value |
|---------------------|---|---|------------------------------|
| Suggestion 1 | <i>Acer pseudoplatanus</i> L. <i>Crataegus monogyna</i> Jacq. <i>Viburnum rhytidophyllum</i> Hemsl. | Leaf Flower (white), Fruit (red) Flower (white) | 8-12 dB 2-4 dB 8-10 dB |
| Suggestion 2 | <i>Fagus sylvatica</i> L. <i>Syringa vulgaris</i> L. <i>Pyracantha coccinea</i> M.Roem. | Leaf Flower (lilac) Fruit (red) | 6-8 dB 6-8 dB 2-4 dB |
| Suggestion 3 | <i>Tilia cordata</i> Mill. <i>Ilex aquifolium</i> L. | Leaf Fruit (red) | 4-6 dB 6-8 dB |
| Suggestion 4 | <i>Taxus baccata</i> L. <i>Spiraea vanhouttei</i> (Briot) Zab. | Form, fruit (red) Flower (white) | 0-2 dB 0-2 dB |

Composition combinations created with 10 plant taxa can of course be differentiated in line with the purposes. It is thought that the suggestions presented in this study will be a guide for landscape architecture students, designers and practitioners.

REFERENCES

- Akkemik, Ü., *Türkiye'nin Doğal – Egzotik Ağaçları ve Çalıları I*, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2014a.
- Akkemik, Ü., *Türkiye'nin Doğal – Egzotik Ağaçları ve Çalıları II*, Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 2014b.
- Anonim, *Türk Çevre Mevzuatı* Türkiye Çevre Vakfı Yayını No: 134. Önder Matbaası. Ankara, 1999.
- Asakura, T., Audiovisual Effects of Roadside Tree Plantings on Perception of Road Traffic Sounds, *Applied Acoustics*, 217,109849, 2024.
- Bayramoğlu, E., Özdemir Işık, B., Demirel, Ö., Gürültü Kirliliğinin Kent Parklarına Etkisi ve Çözüm Önerileri: Trabzon Kenti Örneği, *İnönü University Journal of Art and Design*, 4, 9, 35-42, 2014.
- Bhanap, I., An Analysis of Roadway Noise at Residential Estates in Close Proximity to Expressways in Singapore, *Noise and Health*, 15, 64, 183-189, 2013.
- Burns, W., *Physiological Effects of Noise*. In: Haris CM (eds), *Handbook of Noise Control*, McGraw Hill., Newyork, pp 10-17, 1979.
- Cansaran, D., Gürültü Kirliliği Düzeyini Belirlemeye Yönelik Bir Çalışma: Amasya Örneği, *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 74, 1, 89-108, 2019.
- Coşkun, S., Sava, B. and Şahin, C. Isparta Kent Merkezi Hastane Yerleşkelerinin Gürültü Kirliliği Açısından İncelenmesi, *Kent Akademisi Dergisi*, 15, 2, 848-860, 2022.
- Dzhambov, AM, Dimitrova, D.D., Green Spaces and Environmental Noise Perception, *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 4, 1000–1008, 2015.

- Dzhambov, A.M., Hartig, T., Markevych, I., Tilov, B., Dimitrova, D., Urban Residential Greenspace and Mental Health in Youth: Different Approaches to Testing Multiple Pathways Yield Different Conclusions, *Environmental Research*, 160, 47–59, 2018.
- Evans, G.W. and Hygge, S., *Noise and Performance in Children and Adults*, In L. Luxon & D. Prasher (Eds). Noise and its effects. Wiley, London, pp 549-566, 2000.
- Finke L., Kent Planlaması Açısından Yeşil Alanların Kent İklimi ve Kent Havasım İyileştirme Yetenekleri, *İ.Ü.O.F. Dergisi*, 2 (Çev.:İ.Aslanboğa), 1980.
- Franssen, E.A., Staatsen, B.A., and Lebret, E., Assessing Health Consequences in An Environmental Impact Assessment: The Case of Amsterdam Airport Schiphol Environmental Impact Assessment, *Review*, 22, 633-653. 2002.
- Georgiadou, E., Kourtidis, K. and Ziomias, I., Exploratory Traffic Noise Measurements at Five Main Streets of Thessaloniki, Greece, *Global Nest I International Journal*, 6, 53-61. 2004.
- Keleş, R., and Ertan, B., *Çevre Hukukuna Giriş*, İmge Kitabevi, Ankara, 2002.
- Khilman T. Noise Pollution in Cities, Curitiba and Goteborg as Examples, In: Proceedings of the Seminar-Environmental Aspects of Urbanization-Seminar in Honor of Dr. Mostafa Kamal Tolba. Gothenburg, Sweden, 2004.
- Maleki, K., and Hosseini, S.M., Investigation of The Effects of Leaves, Branches and Canopies of Trees on Noise Pollution Reduction, *Annals of Environmental Science*, 5, 13-21, 2011.
- Morrell. S., Taylor, R. and Lyle, D., A Review of Health Effects of Aircraft Noise, *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 21, 221-236, 1997.
- Önder, S., and Gülgün, B., Gürültü Kirliliği ve Alınması Gereken Önlemler: Bitkisel Gürültü Perdeleri. *Ziraat Mühendisliği*, 355, 54-60, 2010.
- Özer, S., Irmak, M.A., and Yılmaz, H., Determination of Roadside Noise Reduction Effectiveness of *Pinus sylvestris* L. and *Populus nigra* L. İn Erzurum, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144, 191-197, 2008.
- PFAF, Plants for a future, Database, <https://pfaf.org/user>, Accessed: 14.07.2025.
- Renterghem, T.V., Botteldooren, D., View on Outdoor Vegetation Reduces Noise Annoyance for Dwellers Near Busy Roads, *Landscape and Urban Planning*, 148, 203–215, 2016.
- Sava, B., Kuş Şahin, C., and Coşkun, S., Isparta İli Eğirdir İlçesinde Gürültü Kirliliğinin İrdelenmesi Üzerine Bir Araştırma, *Turkish Journal of Forest Science*, 9, 1, 59-74, 2025.
- Slabbekoorn, H., Noise pollution. *Current Biology*, 29, 19, 957-960, 2019.
- Tercan, Ş., and Yaman, G., Kent İçi Trafikten Kaynaklanan Stratejik Gürültü Haritalarının Değerlendirilmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7, 1, 27-40, 2021.
- URL-1, *Acer pseudoplatanus*, https://en.wikipedia.org/wiki/Acer_pseudoplatanus, Accessed: 20.07.2025
- URL-2, *Crataegus monogyna*, <https://www.treesandshrubsonline.org/articles/crataegus/crataegus-monogyna/>, Accessed:19.07.2025.
- URL- 3, *Fagus sylvatica*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Dosya:Fagus_sylvatica_020-2.jpg, Accessed:19.07.2025.

- URL-4, *Ilex aquifolium*, https://www.gardenplantsonline.co.uk/product/ilex-aquifolium-shrub/?attribute_pa_height=250300, Accessed:19.07.2025.
- URL-5, *Pyracantha coccinea*, <https://www.e-fidancim.com/urun/pyracantha-coccinea-ates-dikeni-agaci-tohumu-20-tohum?srsltid=AfmBOorkA6SluZ0ZoNuTOXGwgPZ9ramxQUFT6hBaVIBt6QgkLsL9U0FG>, Accessed:20.07.2025.
- URL- 6, *Syringa vulgaris*, <https://verdi.ro/liliacul-comun-syringa-vulgaris-ghiveci-7l-60cm/>, Accessed:20.07.2025.
- URL, 7, *Spiraea x vanhouttei*, <https://www.peyzax.com/spiraea-vanhouttei-beyaz-cicekli-keci-sakali/>, Accessed:20.07.2025.
- URL- 8, *Taxus baccata*, <https://www.vdberk.be/bomen/taxus-baccata/>, Accessed:19.07.2025.
- URL-9, *Tilia cordata*, <https://www.vdberk.com/trees/tilia-cordata/>, Accessed:19.07.2025.
- URL-10, *Viburnum rhytidophyllum*, https://seedsandsmiles.com/products/10-viburnum-rhytidophyllum-seeds-leatherleaf-viburnum-seeds?srsltid=AfmBOopYPHISd6Q91cpjSbSTbVTRSAebgDhl_OAv-z0eX7SV9AjEcVhl, Accessed:19.07.2025.
- Vidya Sagar, T. and Nageshwara Rao, G., Noise Pollution Levels in Visakhapatnam City (India), *Journal of Environmental Science & Engineering* 48:139-142. 2006.
- Yang, F., Bao, Z.Y., Zhu, Z.J. An Assessment of Psychological Noise Reduction by Landscape Plants, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8,4, 1032–1048, 2011.
- WFO Plant List, 2025. Plant List, <https://wfoplantlist.org/>, Accessed: 12.07.2025.

ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY UNIVERSITY CAMPUSES

Assoc. Prof. Dr, Ashhan TIRNAKÇI
Nevşehir Hacı Bektaş Veli University,

aslihanerdoğan@nevsehir.edu.tr- 0000-0002-0122-5637

Prof. Dr, Banu KARAŞAH

Artvin Çoruh University,

banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313

ABSTRACT

Urban ecosystem services are generated by urban green infrastructures such as public gardens, residential gardens, cemeteries and campus areas. University campuses are semi-private open green spaces that provide both physical and social opportunities for students, academics, staff and even the local public, and also provide various ecosystem services through the green spaces they have. University campuses, which are an important component of urban green spaces, have been undervalued for the ecosystem services they provide together with other urban open-green spaces. In this study, the central campus of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University (NEVU) was chosen as the study area. On-site observation technique was used to determine the ecosystem services provided by the campus, and the ecosystem services provided by the study area were examined in terms of evaluation parameters obtained from literature data. As a result, the campus, with its modern buildings, creates a working area for students and workers. The green areas on campus not only improve air temperature, support pollination, and provide high aesthetic value, but also create habitats for many animal and plant species and provide a wide range of ecosystem services such as recreation and educational value. At this point, it can be concluded that university campuses and associated ecosystem services in urban landscapes can play an important role in enhancing the quality of life in cities. Therefore, urban green infrastructures should be planned and managed in a systematic way, so that they can provide maximum service.

Key Words: Open-green spaces, Ecosystem services, Nevşehir, University campuses.

1. INTRODUCTION

Human activities and quality of life are closely related to ecosystems. With urbanisation and the increase in human-induced activities, ecosystems are being degraded and even destroyed. However, humans obtain many products and benefits of vital importance from the processes carried out by ecosystems and the functions they perform (Albayrak, 2012). According to the MEA (2003) report, humans are an integral part of the ecosystem, and ecosystems provide many services to humans.

Urban ecosystem services are defined as ‘the value and benefits provided by internal ecosystems within a city to its residents’ (Demiroğlu and Karadağ, 2015) and are classified under four major categories: provisioning, regulating, supporting and cultural services. Of these, provisioning and cultural services are services that people benefit from directly, while regulating and supporting services are services that people benefit from indirectly (MEA, 2005; Boyd and Banzhaf, 2007; Braat and De Groot, 2012). The services provided by urban ecosystems, which form a bridge between natural ecosystems and urban dwellers, are made possible by green infrastructure, which is produced partly jointly by nature and humans (Tülek and Mirici, 2019).

Blue-green infrastructure such as rivers, lakes, parks, cemeteries, urban greenways and educational campuses located in urban areas with dense gray infrastructure are components that make up the urban ecosystem (Benedict and McMahon, 2006). Urban green spaces, which form the basic component of green infrastructure systems, provide a wide range of ecosystem services to cities and citizens in both environmental and social terms. Urban green spaces provide many ecosystem services, such as regulating the urban climate (La Rosa, 2014; Shin ve Lee, 2005), reducing flood risk and controlling erosion (Zhang vd., 2012), supporting sustainable food production and safe water supply (Enrica vd., 2023; Hussain vd., 2023), improving urban landscape quality, promoting recreational and tourist activities, protecting biodiversity, and ensuring the sustainability of ecosystem integrity. They also make important contributions to the preservation of traditional cultural heritage (Nguyen and Truong, 2024). For this reason, green spaces in cities are very important in terms of ecosystem services (Bolund and Hunhammar, 1999; Forman, 2008; Derkzen et al., 2015).

The university campuses, with their population and functional areas, are not only institutional areas that provide educational services and are equipped with various facilities; but also they are dynamic, multifunctional and sustainable living spaces that directly contribute to the social, cultural, economic and environmental components of the urban landscape (Colding and Barthel, 2017). In addition, university campuses, with their green spaces, diverse vegetation and educational opportunities, contribute to the development of urban ecosystems and support the providing of ecosystem services that benefit human health, ecological diversity and the general well-being of city dwellers (Doğan et al., 2023; Srivanit and Hokao, 2013).

Urban ecosystems are cities and the surrounding, socio-ecological systems where most people live (Maes, et. al., 2016). They are very peculiar ecosystem types: they are almost completely artificial but they include, in different proportions, all other ecosystem types and they are strongly influenced by human activities. University campuses, which are one of the types of urban ecosystems, provide many ecosystem services not only in terms of their educational function but also in terms of ensuring the sustainability of the urban ecosystem, improving the physical environment, and supporting social interaction. It was aimed to determine the ecosystem services provided by the central campus of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University in this study.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, the central campus of Nevşehir Hacı Bektaş Veli University (NEVU) was chosen as the study area. NEVU has a total of eight campuses, one in the city centre and seven in the districts. The main campus (Damat İbrahim Paşa Campus) is located north of Nevşehir, on the Nevşehir-Kayseri highway (Figure 1). Approximately 700,000 m² of the campus is actively used, and 512,090 m² of this area consists of open spaces.



Figure 1. The location of the study area

On-site observation technique was used as a method in the study. A field study was conducted to assess the ecosystem services provided by the campus. The ecosystem services provided by the campus were identified based on 4 major categories and 30 sub-headings defined by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (Table 1). The ecosystem services provided by the campus are supported by the pictures obtained during the field studies and recommendations are presented to increase the contribution of these services to the city, campus users and citizens.

Table 1. Ecosystem services (MEA, 2005)

| Supporting services | Regulating services | Provisioning services | Cultural services |
|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Water cycling | Air purification | Food | Recreation and ecotourism |
| Nutrient cycling | Climate regulation | Raw materials | Cultural heritage and identity |
| Photosynthesis | Erosion control | Genetic resources | Education values |
| Soil formation | Water purification | Decorative resources | Spiritual and religious values |
| Primary production | Pollination | Fresh water | Knowledge systems |

| | | | |
|--|---------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | Natural hazard regulation | Biochemicals and ornamental resources | Inspiration |
| | Flood regulation | | Aesthetic values |
| | Disease regulation | | Social relations |
| | Pest control | | Sense of place |
| | | | Cultural diversity |

3. RESULTS

As a result of the field study conducted to identify the ecosystem services provided by the campus, a total of 18 ecosystem services were identified at NEVU Damat İbrahim Paşa Campus, including provisioning services (n = 3), regulating services (n = 5), cultural services (n = 5) and supporting services (n = 5).

3.1. Supporting Services Provided by NEVU Damat İbrahim Paşa Campus

The campus open spaces have the function of an area that allows students, academic and administrative staff to interact with nature and soil through the landscape ornamental plants it contains. A total of 86 woody taxa were used in the planting design, belonging to 23 families. Besides oxygen production through photosynthesis, the plants in the campus contribute to the nutrient and water cycle, support soil formation and improve the soil. Furthermore, the decomposition and mixing of leaves, branches and fruits from the plants throughout the campus into the soil supports the cycle of nutrients such as nitrogen and carbon.

Many taxa used as landscape ornamental plants in open spaces are ecologically important not only for their aesthetic functions, but also for their potential to create habitats for various species. Various tree and shrub species used in urban areas provide habitat, food and breeding sites for many species that have adapted to the urban ecosystem (Bütler et al., 2013). In this context, the 86 taxa used in the open-green spaces of the campus provide an important supporting ecosystem service with the potential to provide habitat and microhabitat for many species (Figure 1).



Figure 1. The food and non-food product groups used in the campus contribute to the nutrient and water cycle of both the campus and the city.

3.2. Regulating Services Provided by NEVU Damat İbrahim Paşa Campus

Vegetation plays an important role in the regulation of air quality at the ecosystem level (Bolund and Hunhammar, 1999). Due to the larger total surface area of needles, giving conifers larger

filtering capacity than broadleaved trees (Stolt, 1982). But deciduous tree may be better at capturing particle-bound pollution. Therefore, mixed species compositions with different leaf morphologies are considered the most suitable alternative for improving air quality (Bolund and Hunhammar, 1999). In this context, 21 (25%) of the 86 taxa currently found on the campus belong to the Gymnospermae subdivision, while the remaining 65 (75%) belong to the Angiospermae subdivision. Taking into account the plant diversity and taxonomic distribution on the campus, the campus vegetation provides ecosystem services in terms of regulating air quality.

Urban green areas create suitable habitats for many pollinators such as bees, birds, butterflies and insects that feed on different plant species (Buchholz and Kowarik, 2019; Dylewski et al., 2020). In this context, the campus creates habitats that suitable for various pollinator species with its vegetation and provides an important regulating ecosystem service in terms of supporting pollination.

Vegetation, mitigating floodwater speed and impact while stabilizing soil and preventing erosion (Dunne et al., 1991). University campuses also reduce surface runoff with their vegetation cover, increasing infiltration into the soil and reducing flood risk (Zhou et al., 2012), therefore, the campus contributes by providing important service to regulate the flow of water throughout the city with its green texture.

Due to urbanization, the morphology of cities is changing, open green spaces are decreasing, and the proportion of impervious surfaces is increasing. This situation increases urban heat island formation and leads to changes in the urban climate at the micro scale. Urban trees provide a direct ecological service to cities by reducing urban surface and air temperatures through both shading and evapotranspiration (McPhearson, 2011), and water surfaces in urban areas contribute to the formation of microclimatic areas by lowering the environmental temperature through evaporation. In this respect, NEVU Damat İbrahim Paşa Campus, with its vegetation and water surfaces (ornamental pools), contributes to the strengthening of the urban ecosystem by contributing to the regulation of the urban climate on a regional scale (Figure 2).



Figure 2. The ornamental pool and the plants used in the campus contribute to the regulation of the climate at the regional scale.

3.3. Cultural Services Provided by NEVU Damat İbrahim Paşa Campus

Cultural ecosystem services represent intangible dimensions of the links between people and ecosystems that are psychological, philosophical, social, and spiritual and are at the very core

of human values and preferences (Russell et al., 2013). In this context, cultural ecosystem services provided by university campuses are intangible benefits that contribute to the physical and mental well-being of individuals (students, academic and administrative staff) and include aesthetic, socio-cultural and recreational values. A well-structured campus with natural areas offers students a pleasant experience, encourages them to learn in the campus environment and supports positive social interactions (Carrus et al., 2015; Hajrasouliha, 2017). NEVU central campus provides various opportunities for students, academic and administrative staff such as walking, sports, recreation, participation in cultural events (festivals, exhibitions, talks, competitions, etc.) and socializing thanks to its open and green spaces, sports areas, walking paths, seating and recreation areas, life center and culture and congress center (Figure 3).

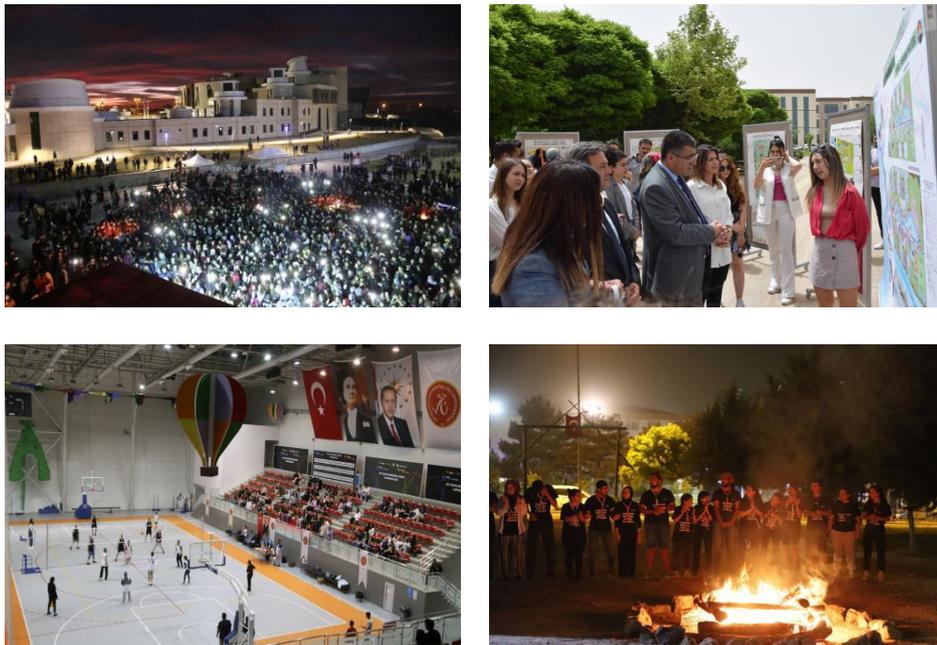


Figure 3. The various arts, sports and cultural activities organized on the campus support the social interaction of the users and allow them to spend their leisure time.

Seasonal changes and growth cycles of natural vegetation or cultivated plants add aesthetic value to the ecosystem (Albayrak, 2012; MEA, 2005). At this point, plants used throughout the campus, in addition to the functional benefits they provide with their flowers, leaves and fruits, increase the visual quality of the area with their color changes depending on the seasons and create positive effects on users.

With their natural and cultural characteristics, landscapes acquire a unique character (MEA, 2005). These characteristics contribute to the forming of spatial identity and support the development of a sense of belonging to the area. With its distinctive architectural structure and vegetation, the campus allows users to feel a sense of belonging for the space.

Cultural ecosystem services provide opportunities for environmental education and awareness-raising. These services enable learning and appreciation of nature and cultural values, which helps future generations to be more sensitive to nature and adopt sustainable lifestyles (Krasny

and Tidball, 2009). In this context, such activities as walking in the campus contribute to individual observation, recognition and understanding of nature.

3.4. Provisioning Services Provided by NEVU Damat İbrahim Paşa Campus

Provisioning services are the products obtained from ecosystems (MEA, 2005). Campuses, as open, protected and well maintained areas, are important areas in terms of biodiversity within urban open green space systems. The 86 taxa within the campus directly or indirectly provide food resources. For example, *Cretaegus azarolus*, *Lavandula angustifolia*, *Morus nigra* 'Pendula', *Tilia tomentosa* taxa stand out as edible, medical and aromatic plants. In terms of decorative resources, trees with multi-season color (leaf-flower-fruit- stems) that offered by natural and exotic plants such as *Cercis siliquastrum*, *Pyrus eleagnifolia*, *Malus floribundo*, *Betula alba* used in campus planting can be observed by users and visitors (Figure 4).



Figure 4. The seasonal colors of the plants used in the campus present different landscapes to the users.

4. CONCLUSION

University campuses are not only education-oriented physical environments for cities, but also dynamic and multifunctional areas that contribute to the social, cultural, economic and environmental fabric of urban landscapes (Colding and Barthel, 2017). University campuses, which form sheltered areas for many native, exotic and endemic plants, strengthen urban ecosystems and support the provision of ecosystem services that benefit human health,

ecological diversity and the general well-being of urban residents (Doğan et al., 2023). In this context, with the increasing effects of global climate change, adopting the importance and priority given to the use of native plant species in urban areas also in the landscape design of campuses will increase the diversity of vegetation and contribute to the protection of biodiversity. The protection of the green areas of the campuses within the urban texture against the pressure of urbanization is especially important in terms of ecological balance. At this point, considering the potential for increasing the vegetation cover on campuses, it can be said that green areas have a high potential to increase the ecosystem services that they provide at both campus and city scales.

Green areas in university campuses are important components of green infrastructure in urban areas (Çoşkun Hepcan and Hepcan, 2018). NEVU Central Campus has significant potential within the Nevşehir urban open-green space system due to its diverse vegetation layers (trees, shrubs, herbaceous plants and grasses). With this study conducted at the scale of the NEVU Campus, it has been revealed that university campuses not only have educational value but also provide a variety of ecosystem services such as habitat for animals and plants, CO₂ storage, microclimate regulation, ornamental value, medicinal and food value. Additionally, various socio-cultural events such as festivals, exhibitions, and concerts organized on campus provide both students and staff with the opportunity to engage together and participate in enjoyable activities. Consequently, the NEVU Central Campus has a diverse landscape that can meet users' educational and recreational needs while also making significant contributions to the urban ecosystem through the ecosystem services it provides. In this context, nature-based and multifunctional landscape planning and design approaches should be developed to ensure the sustainability of the ecosystem services provided by the campus and to enhance the environmental, social, and economic value of these services.

REFERENCES

- Albayrak, İ., "Ekosistem Servislerine Dayalı Havza Yönetim Modelinin İstanbul- Ömerli Havzası Örneğinde Uygulanabilirliği," Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 2012
- Benedict, M.A., McMahon, E.D., *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Island Press, Washington DC. 2006.
- Bolund, P. & Hunhammar, S., Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301. 1999.
- Boyd, J., Banzhaf, S., "What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units," *Ecological-economics*, s. 63, ss. 616-626, 2007.
- Braat, L.C., De Groot, R., "The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy," *Ecosystem services*, vol.1, no.1, pp.4-15, 2012.
- Buchholz, S. & Kowarik, I., Urbanisation modulates plant-pollinator interactions in invasive vs. native plant species. *Sci Rep* 9, 6375, 2019.

- Bütler, R., Lachat, T., Larrieu, L., & Paillet, Y., *Habitat trees: key elements for forest biodiversity*. Freiburg: European Forest Institute, 2013.
- Carrus G, Scopelliti M, Laforteza R, Colangelo G, Ferrini F, Salbitano F, Agrimi M, Portoghesi L, Semenzato P, Sanesi G., Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri urban green areas. *Landscape Urban Planning* 134:221–228, 2015.
- Colding, J., & Barthel, S., The role of university campuses in reconnecting humans to the biosphere. *Sustainability*, 9(12), 2349, 2017.
- Coskun Hepcan, C., & Hepcan, S., Assessing regulating ecosystem services provided by the EGE University Rectorship Garden. *Urban Forestry and Urban Greening*, 34, 10–16, 2018.
- Demiroğlu, D., Karadağ, A.A., *Ecosystem Services Approach to Spatial Planning in Turkey*. I. Uluslararası Kent Araştırmaları Kongresi Bildiriler Kitabı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s. 153-168, 2015.
- Derkzen, M.L., Van Teeffelen, A.J.A. & Verburg, P.H., Quantifying urban ecosystem services based on highresolution data of urban green space: An assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52, 1020-1032, 2015.
- Doğan, T.G., Eroğlu, E. & Başaran, N., *Assessing the relationship between plant species diversity and land heterogeneity: The case of Düzce*. Conference: IV-International Rural Areas and Ecology Congress Within The Framework of Sustainable Development (RUDESU2023), November, Konya, Turkey, 2023.
- Dunne, T., Zhang, W., Aubry, B.F., Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. *Water Resources Research* 27, 2271–2285, 1991.
- Dylewski, Ł., Maćkowiak, Ł. & Banaszak-Cibicka, W., Linking pollinators and city flora: How vegetation composition and environmental features shapes pollinators composition in urban environment. *Urban Forestry and Urban Greening*, 56, 126795, 2020.
- Enrica, G., Josep, P. R., Amanda, J. A., Garry, P., Albert, N., Anna, R. P., & Josep, V. S., Landscape features shape people’s perception of ecosystem service supply areas. *Ecosystem Services*, 64, 1-20, 2023.
- Forman, R.T.T, *Urban regions: Ecology and planning beyond the city*. In: Cambridge University Press, 408 p., New York, USA, 2008.
- Hajrasouliha, A., Campus score:Measuring universty campus qualities. *Landscape and Urban Planning*, 158: 166-176, 2017.
- Hussain, S., Sharma, S., Singh, A. N., Identification and prioritisation of ecosystem services based on the socio-economic perspectives of local people in a trans-Himalayan region of Ladakh, India. *Anthropocene*, 44, 2023.
- Krasny, M. E. ve Tidball, K. G., Applying a resilience systems framework to urban environmental education: *Environmental Education Research: Vol 15, No 4*, 2009.
- La Rosa, D., Accessibility to greenspaces: GIS based indicators for sustainable planning in a dense urban context. *Ecological Indicators*, 42, 122-134, 2014.
- Maes, J., Zulian, G., Thijssen, M., Castell, C., Baró, F., Ferreira, A., Melo, J., Garrett, C., David, N., Alzetta, C., Geneletti, D., Cortinovis, C., Zwierchowska, I., Alves, F., Cruz, C.,

- Blasi, C., Alós Ortí, M., Attorre, F., Azzella, M., Teller, A., Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: Urban ecosystems. 10.2779/625242, 2016.
- McPhearson, T., *Toward a sustainable New York City: Greening through urban forest restoration*. In E. Slavin (Ed.), *Sustainability in America's Cities: Creating the Green Metropolis* (pp. 181–204). Island Press: Washington, DC, 2011.
- MEA., *Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment*. Island Press, 2003.
- MEA., *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington DC, 2005
- Nguyen, G.T., Truong, D.H., Evaluating the Importance of Ecosystem Services in University Campus. *Civil Engineering Journal*. 10(1), pp. 234–248. doi: 10.28991/CEJ-2024-010-01-015, 2024.
- Russell, R., Guerry, A.D., Balvanera, P. et al., Humans and nature: how knowing and experiencing nature affect well-being, “Annual Reviews Environment and Resources” no. 38, pp. 473–502, 2013.
- Shin, D.H., Lee, K.S., Use of remote sensing and geographical information system to estimate green space temperature change as a result of urban expansion. *Landscape and Ecological Engineering*, 1, 169-176, 2005.
- Srivanit, M. & Hokao, K., Evaluating the cooling effects of greening for improving the outdoor thermal environment at an institutional campus in the summer. *Building and Environment*, 66, 158-172, 2013.
- Stolt, E., *The ability of vegetation in decreasing exposure to car fumes*, Göteborgs University, 1982.
- Tülek, B., Ersoy Mirici, M., Kentsel Sistemlerde Yeşil Altyapı ve Ekosistem Hizmetleri. *PEYZAJ*, 1(2), 1-11, 2019.
- URL-1. <https://biodiversity.europa.eu/europes-biodiversity/ecosystems/urban-cosystems>
(24.07.2025)
- Zhang, Y., Meng, W., Yun, H., Xu, W., Hu, B., He, M., Mo, X., Zhang, L., Is urban green space a carbon sink or source? – a case study of China based on LCA method. *Environmental Impact Assessment Review* 94: 106766, 2022.
- Zhou, X., Wang, X., Tong, L., Zhang, H., Lu, F., Zheng, F., Hou, P., Song, W., & Ouyang, Z. Soil warming effect on net ecosystem exchange of carbon dioxide during the transition from winter carbon source to spring carbon sink in a temperate urban lawn. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 24(12), 2104–2112. doi:10.1016/S1001-0742(11)61057-7, 2012.

KAMUSAL YEŞİL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK YAKLAŞIMLARI İLE KULLANICI BEKLENTİLERİ ARASINDAKİ UYUMSUZLUK ÜZERİNE BİR İNCELEME

Doç. Dr. Fatma AŞILIOĞLU

Ankara Üniversitesi, fatma.asilioglu@ankara.edu.tr - 0000-0001-9869-9638

Dr. Reva ŞERMET ACAR

Ankara Üniversitesi, rsermet@ankara.edu.tr - 0000-0001-6682-4684

Öğr. Gör. Hande ASLAN

Ankara Üniversitesi, handeaslan@ankara.edu.tr - 0000-0002-2659-3604

ÖZET

Bu çalışma, kamusal yeşil alanlardaki sürdürülebilirlik eksenli planlama yaklaşımları ile kullanıcı beklentileri arasındaki çelişkileri incelemektedir. Kamusal yeşil alanlar, yalnızca ekolojik faydalar sunmakla kalmayıp sosyal bütünleşme, halk sağlığı ve psikolojik iyilik haline de katkı sunan çok işlevli kentsel bileşenlerdir. Sürdürülebilirlik kriterleri; erişilebilirlik, biyoçeşitliliği koruma, ekosistem hizmetleri sunma, toplumsal katılım, düşük bakım ihtiyacı ve iklim dayanıklılığı gibi faktörleri kapsarken; kullanıcı memnuniyeti kriterleri ise konfor, estetik, güvenlik, erişim kolaylığı ve sosyal etkileşim gibi insan merkezli öğelerle tanımlanmaktadır. Çalışmada bu iki kriter grubu sistematik biçimde karşılaştırılmış; uyumlu ve çelişen yönleri literatür ve örnek alanlar üzerinden analiz edilmiştir. Yerel bitki örtüsü kullanımı, gölgelik alanların artırılması ve yağmur suyu yönetimi gibi uygulamalar hem sürdürülebilirlik hem de kullanıcı memnuniyetini destekleyen örnekler olarak sunulurken; doğal bitki örtüsünün korunduğu alanlar, sınırlı aydınlatma ve erişim kısıtlamaları gibi uygulamaların kullanıcılar nezdinde memnuniyetsizlik yaratabileceği vurgulanmıştır. Dünya'dan ve Türkiye'den çeşitli örnekler, bu uyum ve çelişkileri somutlaştırmak için değerlendirilmiştir. Bu örnekler, sürdürülebilir olarak nitelendirilen bazı alanlarda kullanıcı beklentilerinin yeterince gözetilmemesi nedeniyle sosyal işlevlerin yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Çalışma sonucunda, sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti arasındaki dengeyi sağlamak için katılımcı planlama süreçlerinin, çok işlevli ve esnek tasarım yaklaşımlarının, erişilebilir ve kapsayıcı düzenlemelerin önemine dikkat çekilmiştir. Bu bağlamda kamusal yeşil alanların, yalnızca çevresel sürdürülebilirlik ilkeleriyle değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimi ve toplumsal beklentileri kapsayan bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kamusal yeşil alanlar, Sürdürülebilir planlama, Sürdürülebilir tasarım, Kamusal yeşil alanlarda kullanıcı memnuniyeti, Sürdürülebilirlik-kullanıcı memnuniyeti ilişkisi

1. GİRİŞ

Kentsel yeşil alanlar mülkiyete göre özel ve kamusal yeşil alanlar olarak ikiye ayrılır. Özel yeşil alanlar, ev bahçeleri gibi doğrudan halka açık olmayan erişimi kısıtlı açık ve yeşil mekânlardır [1]. Kamusal yeşil alanlar ise yaş, gelir, sosyal sınıf gözetmeksizin herkesin erişimine açık

mekânlardır [2] ve parklar, bahçeler, ormanlar ve ağaçlıklar gibi doğal alanlar [3, 4] ile yeşil kuşaklar, kurumsal yeşil alanlar, yeşil meydanlar ve mezarlıklar gibi biçimlendirilmiş peyzajları [1, 2, 5-7] kapsar.

Kamusal yeşil alanlar hem pasif hem de aktif rekreasyon için tasarlanır veya düzenlenir [2]. Rekreasyonel işlevlerinin ötesinde ekolojik, sosyal, psikolojik, ekonomik ve sağlıkla ilgili faydalar sağlar [8]. Kentlerde ısı adası etkileri ve hava kirliliğini düşürür, mikro iklimleri düzenler, biyolojik çeşitliliği destekler, yağmur suyu yönetimini iyileştirir [3, 4, 9], gürültü seviyesini düşürür, toprağı kaynaklarını korur [3, 10] ve böylece daha sağlıklı, daha sürdürülebilir bir çevreye katkıda bulunur [11, 12]. Kamusal yeşil alanlar çevre bilinci, kültürel etkileşim, sosyal uyum ve yer aidiyeti gibi konularda kullanıcılara hazır fırsatlar sunan mekânlardır [3, 13]. Toplumun tüm kesimleri tarafından eşit bir şekilde erişilebildiği için sosyal adalet duygusunu güçlendirir [14]. Avrupa Çevre Ajansı'na (EEA) göre, yeşil alanlara adil erişim, kentsel sürdürülebilirliğin ve sosyal eşitliğin temel bir bileşenidir [15]. Fiziksel aktiviteye teşvik eder, stresi azaltır ve ruh sağlığına iyi gelir [16-18]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), herkesin yaşadığı yerin 300 metre yakınında bir yeşil alan bulunmasını önermektedir [18]. Kamusal yeşil alanlar aynı zamanda turizmi ve yerel refahı destekleyen, soğutma için gerekli enerji maliyetlerini düşüren ekonomik avantajlar sunar [19].

Kamusal yeşil alanların sayılan bu önemli işlevlerini tam olarak yerine getirmesi ve sürekliliği için sürdürülebilirlik ilkelerine göre planlanması, tasarlanması ve yönetilmesi gerekir. Planlamacı, tasarımcı ve karar vericiler bir taraftan sürdürülebilirlik ölçütlerini sağlamaya diğer taraftan da kullanıcı beklentilerini karşılamaya çalışırlar. Fakat sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti kriterlerinin bir biriyle uyumlu olduğu kadar uyumsuz olduğu durumlar da mevcuttur. Bu çelişkilerin en aza indirildiği ve mümkün olduğu kadar başa çıkılabildiği alanlar başarılı kamusal yeşil alanlar olarak kabul edilebilir. Bu çalışma kamusal yeşil alanların planlanmasında ve tasarımında sürdürülebilirlik eksenli yaklaşımları ile kullanıcı memnuniyeti kriterleri arasındaki uyumsuzluklara, çelişkilere odaklanmıştır. Bu amaçla sürdürülebilirlik ve memnuniyet kriterlerine ilişkin kapsamlı bir literatür incelemesi yapılmış, kriter setleri oluşturulmuş ve aralarındaki negatif ilişkiler belirlenmiştir. Dünya'da ve Türkiye'de sürdürülebilirlik odaklı olarak oluşturulan, geliştirilen veya yenilenen kamusal yeşil alanlardaki potansiyel kullanıcı memnuniyeti uyumsuzlukları örnekleri ile tartışılmıştır.

2. KAMUSAL YEŞİL ALANLARDA KALİTE ve SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Web of Science, Scopus ve Google Akademik'te taranan 130 bilimsel makalenin sistematik olarak incelendiği bir araştırmada, kamusal yeşil alanların kalite kriterleri erişilebilirlik, bağlantılılık, duyarlılık, aktivite çeşitliliği, sosyal etkileşimler, tesisler ve olanaklar, güvenlik ve emniyet, ferahlık, biyoçeşitlilik, algısal değer, estetik değer ve sembolik değer olmak üzere 15 madde halinde listelenmiştir [20].

Kamusal yeşil alanlar, uzun vadeli sürdürülebilirliklerini ve topluma faydalarını garanti altına almak için çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan çeşitli özelliklere sahip olmalıdır. Bunları, ekolojik dayanıklılık ve biyoçeşitlilik, erişilebilirlik ve kapsayıcılık, topluluk katılımı ve sosyal uyum, uyarlanabilir ortak yönetim ve planlama, sağlık ve refahın geliştirilmesi, sürdürülebilir tasarım ve bakım, ekonomik değer olarak listelemek mümkündür.

Ekolojik dayanıklılık ve biyoçeşitlilik: Ekosistemleri desteklemek, biyoçeşitliliği artırmak ve ekolojik dengeyi teşvik etmek için tasarlanmalıdırlar. Bu, çeşitli bitki ve hayvan türlerini bünyesinde barındırmayı, kirleticileri emerek ve oksijen salarak doğal hava temizleyicileri

olarak işlev görmeyi içerir [21]. Ayrıca kentsel ısı adası etkisini azaltmaya ve yağmur suyunu yönetmeye yönelik uygulamalara sahip olmalıdır [22]. Su arıtma ve hava kalitesini iyileştirme gibi çeşitli ekosistem hizmetlerinin sağlanmasında rol oynamalıdır [23].

Erişilebilirlik ve kapsayıcılık: Sürdürülebilir kamusal yeşil alanlar, tüm yaş grupları için erişilebilir olmalı ve çeşitli aktiviteler için olanaklar sunarak insanlar ile çevreleri arasındaki karşılıklı ilişkiyi güçlendirmelidir [24]. Eşit dağılım ve erişilebilirlik, sosyal sürdürülebilirlik için hayati önem taşımaktadır. İnsanlar kısa bir yürüme mesafesinde bu alanlara erişebilmelidir [25]. Kapsayıcı tasarım ilkeleri, bilişsel işlevleri geliştirmek ve anksiyete ve depresyon belirtilerini azaltmak da dâhil olmak üzere kullanıcılar için olumlu sonuçlar sağlamak açısından önemlidir [26].

Topluluk katılımı ve sosyal uyum: Kamusal yeşil alanlara sosyal etkileşimleri kolaylaştırmalı, topluluk gelişimini desteklemeli, sosyal toplantılar ve eğitim için olanaklar sağlamalıdır [26, 27]. Kullanıcıları ve paydaşları bu alanların yeniden şekillendirilmesi ve yeniden düşünülmesine dâhil etmek, gelecekteki sürdürülebilirlik için elzemdir [28].

Uyarlanabilir ortak yönetim ve planlama: Sürdürülebilir yeşil alanlar, kentsel dayanıklılığı artırmak için uyarlanabilir ortak yönetim stratejileri gerektirir ve bu sayede çeşitli stres faktörlerine karşılık olarak kalıcılıklarını, uyum sağlamalarını ve dönüşmelerini sağlar [29]. Etkili yönetim, uzun vadeli planlama ve yenilikçi stratejilerin kullanımı, bunların sürdürülmesi ve faydalarının optimize edilmesi için çok önemlidir [30, 31].

Sağlık ve refahın geliştirilmesi: Kamusal yeşil alanlar, psikolojik iyileşme, stres azaltma ve gelişmiş fiziksel ve zihinsel refah dâhil olmak üzere önemli sağlık yararları sunmaya yönelik işlevler üstlenmelidir [3, 32, 33]. Dinlenme ve rekreasyon alanları olarak hizmet verirken ve duygusal iyileşmeye de katkıda bulunmalıdır [34].

Sürdürülebilir tasarım ve bakım: Tasarım unsurları, esnekliği teşvik etmeli ve çeşitli çevre ortamlarına uyum sağlamalı, tesislerle bağlantı kurmalı ve kentsel dokuyla sorunsuz bir şekilde bütünleşmelidir [35]. Yağmur suyu yönetimi için sürdürülebilir drenaj sistemleri içermelidir [36]. Bu alanların yaratılmasında veya dönüştürülmesinde kalıcılığa ve sürekliliğe yönelik yenilikçi peyzaj tasarım yöntemleri kullanılmalıdır. Çekici ve güvenli ortamlar sağlamak için düzenli bakım ve onarım hayati önem taşır [37].

Ekonomik değer: Sürdürülebilir yeşil alanlar, çevresel ve sosyal faydaların yanı sıra, kentsel çevrelerin değerini artırarak ekonomik avantajlar da sunabilir [38]. Birçok durumda olumlu etkiler sayesinde, bu alanların oluşturulması veya geliştirilmesi ekonomik açıdan kârlı olabilir [39].

3. KAMUSAL YEŞİL ALANLARDA KULLANICI MEMNUNİYETİ

Kamusal yeşil alanlardaki kullanıcı memnuniyeti, fiziksel, sosyal ve çevresel özelliklerin insanlar tarafından nasıl algılandığı, onları nasıl etkilediği ile ilgilidir. Bunun temel belirleyicileri altyapı ve olanaklar, temizlik ve bakım, güvenlik, erişilebilirlik ve kapsayıcılık, doğallık ve peyzaj kalitesi, fonksiyonellik, çevre kalitesi, yön ve yol gösterici işaretler ve tabelalar, algılanan kalite ve kullanıcı algısı, sosyal ve psikolojik faydalar başlıkları altında incelenebilir.

Altyapı ve olanaklar: Tesislerin durumu ve erişilebilirliği, memnuniyeti önemli ölçüde etkiler. Bu, kaldırım, aydınlatma, tuvaletler, gölgelik ve genel rekreasyon olanakları gibi unsurları içerir [40-45].

Temizlik ve bakım: Otopark ve tuvaletler gibi bölümlerin temiz olması ile yapısal ve bitkisel peyzajın bakımlı olması kullanıcı algısı ve memnuniyeti açısından çok önemlidir [40, 42, 43].

Güvenlik: Kullanıcıların kişisel güvenlik duygusu hayati önem taşır ve genellikle altyapının bakımlı olması ve genel temizlikle bağlantılıdır [41, 42]. Bunun yanı sıra görünürlük ve saklanma noktalarının olmaması suç algısının düşmesini sağlar.

Erişilebilirlik ve kapsayıcılık: Alana kolay erişim ve hareket kabiliyeti kısıtlı olanlar da dâhil olmak üzere çeşitli kullanıcı ihtiyaçlarını karşılama yeteneği, memnuniyet ve kullanım sıklığının önemli belirleyicileridir [25, 41, 45-51].

Doğallık ve peyzaj kalitesi: Yerel bitkiler ve doğal yer örtücüler gibi unsurların varlığı, peyzajın genel görsel çekiciliğiyle birlikte olumlu deneyimlere ve memnuniyete katkıda bulunur. Yeşil alanların algılanan kalitesi, niceliğinden daha önemli kabul edilmektedir [45, 52-56].

Fonksiyonellik: Alanın çeşitli aktivite ve olanaklar sunması, çekiciliğini ve farklı yaş, gelir sosyal gruplardan kullanıcı ihtiyaç ve beklentilerini karşılama kapasitesini artırır [45, 49, 54, 57].

Çevre kalitesi: Hava kirliliği, gürültü ve sivrisinek gibi rahatsız edici unsurların varlığı gibi faktörler kullanıcı memnuniyetini olumsuz etkileyebilir [40, 58, 59].

Yön ve yol gösterici işaretler ve tabelalar: Kent parklarındaki açık ve etkili işaret sistemleri, kullanıcı deneyimini ve genel memnuniyeti önemli ölçüde iyileştirebilir [40].

Algılanan kalite ve kullanıcı algısı: Kullanıcıların alanın genel kalitesini, kullanılabilirliğini ve olumlu bir deneyim sağlama yeteneğini algılama biçimi memnuniyet için önemlidir [53, 55, 60, 61].

Sosyal ve psikolojik faydalar: Rahatlamayı, duygusal refahı, fiziksel sağlığı ve sosyal etkileşimi teşvik eden alanlar, kullanıcı memnuniyetine ve yaşam kalitesine önemli ölçüde katkıda bulunur [17, 34, 41, 44, 59, 62-65].

4. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK - KULLANICI MEMNUNİYETİ UYUMSUZLUĞU VE ÖRNEK ALANLAR

Kamusal yeşil alanlar kalite kriterleri ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda oluşturulsalar veya dönüştürülseler de kullanıcı algısı ve beklentisini tam olarak karşılamayabilirler. Sürdürülebilirlik yaklaşımları her zaman kullanıcıları memnun eden sonuçlar doğurmayabilir. Bu problemle mümkün olduğu kadar başa çıkabilen alanlar gerçek anlamda başarılı kamusal yeşil alanlar olarak kabul edilir. Sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti arasındaki temel çelişkiler, yoğun kaynak kullanımı ve yüksek imkanlar, yerel bitkileri ve yerel olmayan süs bitkileri, doğal peyzajlar ve biçimlendirilmiş peyzajlar, erişilebilir alanlar ve ekolojik koruma, düşük etkili materyal ve dayanıklı altyapı, biyoçeşitlilik ve güvenlik başlıkları altında incelenmektedir (Çizelge 1).

Sürdürülebilirlik ile kullanıcı beklentileri arasındaki gerilim birçok kamusal yeşil alanda kendini göstermektedir. Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Dubai Miracle Garden bunun

örneklerinden biridir (Görsel 1). 2013 yılında açılan bahçe 72 dönümlük bir alan üzerindeki yaklaşık 50 milyon çiçekle dünyanın en büyük çiçek bahçesi olma özelliğine sahiptir [66]. Ziyaretçilere görsel ve estetik açıdan yüksek olanaklar sunan, başta Instagram olmak üzere sosyal medya kullanıcılarının fotoğraf ve video beklentilerini karşılayan bir alandır. Fakat sunduğu bu yüksek olanakları korumak için çöllerde ve kurak bölgelerdeki diğer benzer cazibe merkezleri gibi önemli miktarda su ve enerji tüketmektedir [67]. Bu da görsel olarak çarpıcı ve keyifli bir deneyim arayışının, sürdürülebilirlik hedeflerine meydan okuyan önemli bir kaynak kullanımına neden olması ile sonuçlanmaktadır [68].

Çizelge 1. Sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti arasındaki çelişkiler

| Çelişki | Sürdürülebilirlik | Kullanıcı Memnuniyeti | Kaynak |
|---|---|---|----------|
| Yoğun kaynak kullanımı X Yüksek imkânlar | Su tasarrufu ve bakımın azaltılması gibi asgari kaynak kullanımına öncelik verir. | Kullanıcılar genellikle yoğun bakım gerektiren, estetik açıdan hoş görünen, yemyeşil alanları tercih ederler. | [[61] |
| Yerel bitkiler X Yerel olmayan süs bitkileri | Yerel biyoçeşitliliği destekleyen ve daha az su ve müdahale gerektiren yerel bitki türlerini destekler. | Kullanıcılar, yerel çevre için ekolojik olarak sürdürülebilir olmasalar bile, estetik açıdan hoş gördükleri için süs bitkilerini ve egzotik çiçekleri tercih edebilirler. | [69, 70] |
| Doğal peyzajlar X Biçimlendirilmiş peyzajlar | İnsan müdahalesinin en aza indirildiği doğal peyzajları ve ekolojik süreçleri teşvik eder. | Kullanıcılar genellikle düzgün sınırlı çim alanlar, budanmış bitkiler ve kontrollü bitki örtüsüne sahip, önemli miktarda kaynak ve işçilik gerektiren bakımlı peyzajları tercih ederler. | [71, 72] |
| Erişilebilir alanlar X Ekolojik koruma | Hassas ekolojik alanların korunmasına ve yaban hayatı habitatları üzerindeki insan etkisinin en aza indirilmesine odaklanır. | Kullanıcılar, yeşil alanın tamamına kolayca erişim sağlamak isterler. Bu da hassas ekosistemleri koruma çabalarıyla çelişebilir. | [73, 74] |
| Düşük etkili materyal X Dayanıklı altyapı | Geri dönüştürülmüş malzemeler ve geçirimli yer kaplamaları gibi altyapı için sürdürülebilir, düşük etkili malzemelerin kullanımını teşvik eder. | Kullanıcılar, yoğun kullanıma dayanıklı, uzun ömürlü bir altyapı bekler, bu da daha az sürdürülebilir malzemelerin kullanımını gerektirebilir. | [72] |
| Biyoçeşitlilik X Güvenlik | Farklı türlerin yaşamasına olanak tanıyan çeşitli yaşam alanları oluşturarak biyoçeşitliliği destekler. | Kullanıcılar, görünürlük, istenmeyen hayvanlar veya bireyler için potansiyel saklanma yerleri konusundaki endişeler nedeniyle yoğun bitki örtüsüne sahip karmaşık alanları güvensiz olarak algılayabilir. | [71, 72] |

Sürdürülebilirlik ve kullanıcı memnuniyeti dengesini zorlayan bir diğer örnek Türkiye'nin Rize, Artvin ve Erzurum kentleri sınırları içerisinde kalan Kaçkar Dağları Milli Parkı'dır (Görsel 2). Doğu Karadeniz'in en bakir doğasına sahip bu alan, son yıllarda artan yayla turizmi, dağ yürüyüşü rotaları, araç yolları, tesisleşme ve sosyal medya etkisiyle daha fazla ziyaretçi çekmektedir. Çeşitli faaliyetlere olan talep artışı hassas ekosisteme baskı yapar hale gelmiştir [75]. Ziyaretçilerin arzuları ile çevre koruma arasında denge kurmak, genellikle taşıma kapasitesinin yönetilmesini ve toprak sıkışması veya kirlilik gibi etkilerin azaltılmasını gerektirir [76].



Görsel 1. Dubai Miracle Garden, BAE [77].

Dünyanın en bilinen parklarından biri olan ve Amerika Birleşik Devletleri'nin New York kentinde bulunan Central Park için de çelişkiler söz konusudur (Görsel 3). Parkta sürdürülebilirlik ve kullanıcı beklentileri arasındaki temel çatışma, bir taraftan yüksek kaliteli rekreasyonel deneyimler sunarken diğer taraftan doğal kaynakları koruma ikileminden kaynaklanmaktadır [78]. Artan kullanım, parkın ekosistemleri üzerinde önemli bir baskı oluşturarak doğal ortamların zarar görmesi ve çevresel bozulma gibi ekolojik bozulmalara yol açmaktadır [79, 80]. Kullanıcı şikâyetleri genellikle güvenlik, yol paylaşımı (bisiklet, koşu, at arabası, yaya için aynı yolların kullanılması), yönlendirme eksikliği ve temizlikle ilgilidir. Güvenlik sorunları parkın biyoçeşitliliğin ön planda tutulduğu, daha doğal bırakılmış, arka ve tenha kısımlarında yaşanırken, yol paylaşımı sorunları ise sürdürülebilirliğin minimum altyapı müdahalesi ilkesi doğrultusunda daha az kaplanmış, geçirimsiz ve sıkıştırılmış yüzey yapılmış olması ile doğrudan bağlantılıdır.



Görsel 2. Kaçkar Dağları Milli Parkı, Türkiye [81].



Görsel 3. Central Park, ABD [82].

5. SONUÇ

Kamusal yeşil alanlarda sürdürülebilirlik ilkeleri ile kullanıcı beklentileri arasında hem sinerji hem de gerilim noktaları bulunmaktadır. Bu uyumsuzlukların kabul edilebilir seviyeye getirilmesi, sürdürülebilirlik ilkelerini ve kullanıcı tercihlerini dikkate alan dengeli bir yaklaşım gerektirir. Bunun için izlenmesi gerek stratejiler eğitim; katılımcı tasarım, planlama ve yönetim; ve yenilikçi tasarım olarak özetlenebilir. Kullanıcıları sürdürülebilir uygulamaların faydaları ve ekolojik korumanın önemi konusunda eğitmek, tercihlerin daha sürdürülebilir seçeneklere doğru kaymasına yardımcı olacaktır. Tasarım, planlama ve yönetim süreçlerine kullanıcıların, sivil toplum kuruluşlarının veya diğer toplum temsilcilerinin dâhil edilmesi ve geri bildirim yöntemlerinin kullanılması sürdürülebilirliği teşvik ederken kullanıcı ihtiyaçlarının da dikkate alınmasını sağlayacaktır. Sürdürülebilir uygulamaları kullanıcı dostu olanaklarla bütünleştiren yenilikçi tasarım çözümleri kullanmak, çelişkileri en aza indirmeye ve faydaları en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olacaktır. Bu ve benzer stratejileri izleyerek hem ekolojik ve sosyal bakımdan sürdürülebilir, hem de kullanıcılar için son derece tatmin edici ve başarılı kamusal yeşil alanlar yaratmak mümkündür.

KAYNAKÇA

- [1] You, H., *Characterizing the inequalities in urban public green space provision in Shenzhen, China*. Habitat international, 2016. **56**: p. 176-180.
- [2] Kabisch, N., S. Qureshi, and D. Haase, *Human–environment interactions in urban green spaces—A systematic review of contemporary issues and prospects for future research*. Environmental Impact assessment review, 2015. **50**: p. 25-34.
- [3] Dmitrović, V., et al., *Sustainability of Urban Green Spaces: A Multidimensional Analysis*. Sustainability, 2025. **17**(9): p. 4026.
- [4] Trinh, N.T.H. and C. Cicea, *Green space and its role to improve social and economic development for a better quality of life*. Management and Economics Review, 2021. **1**: p. 49-60.
- [5] Shan, X.-Z., *The socio-demographic and spatial dynamics of green space use in Guangzhou, China*. Applied Geography, 2014. **51**: p. 26-34.
- [6] Shen, Y., F. Sun, and Y. Che, *Public green spaces and human wellbeing: Mapping the spatial inequity and mismatching status of public green space in the Central City of Shanghai*. Urban forestry & urban greening, 2017. **27**: p. 59-68.
- [7] Wendel, H.E.W., R.K. Zarger, and J.R. Mihelcic, *Accessibility and usability: Green space preferences, perceptions, and barriers in a rapidly urbanizing city in Latin America*. Landscape and urban planning, 2012. **107**(3): p. 272-282.
- [8] Lee, A.C.K., H.C. Jordan, and J. Horsley, *Value of urban green spaces in promoting healthy living and wellbeing: prospects for planning*. Risk management and healthcare policy, 2015: p. 131-137.
- [9] Tzoulas, K., et al., *Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review*. Landscape and urban planning, 2007. **81**(3): p. 167-178.
- [10] Ranasinghe, W.C. and G. Hemakumara, *Spatial modelling of the householders' perception and assess the potentiality to improve the urban green coverage in the residential areas: a case study from Issadeen town Matara, Sri Lanka*. Ruhuna Journal of Science, 2018. **9**(1).

- [11] Jumaah, M.S., Z.M. Abdulrazzaq, and A.H. Abdul_Majeed. *Role of green spaces and their impact on climate design and ecosystem efficiency*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. IOP Publishing.
- [12] Handy, M.R.N. and I. Maulana. *Revitalization of Green Open Space to Fulfill the Needs of Urban Communities*. in *2nd International Conference on Social Sciences Education (ICSSE 2020)*. 2021. Atlantis Press.
- [13] Liu, H.-L. and Y.-S. Shen, *The impact of green space changes on air pollution and microclimates: A case study of the Taipei metropolitan area*. *Sustainability*, 2014. **6**(12): p. 8827-8855.
- [14] Ríos-Rodríguez, M.L., et al., *Influence of perceived environmental quality on the perceived restorativeness of public spaces*. *Frontiers in psychology*, 2021. **12**: p. 644763.
- [15] EEA (European Environment Agency), *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe*. 2020.
- [16] Azhar, A.S.N., M.R.M. Hussain, and I. Tukiman, *Urban green space for sustainable environmental health in relation to pandemic crises*. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 2022. **9**(2-2): p. 87-98.
- [17] Jinguang, Z., Y. Zhaowu, and Z. Bing, *Impact mechanism of urban green spaces in promoting public health: Theoretical framework and inspiration for practical experiences*. *Landscape Architecture Frontiers*, 2020. **8**(4): p. 104-114.
- [18] WHO (World Health Organization), *Urban green spaces: a brief for action*. 2017, World Health Organization.
- [19] Wolf, K.L., *Business district streetscapes, trees, and consumer response*. *Journal of Forestry*, 2005. **103**(8): p. 396-400.
- [20] Ghavimi, A., F. Schuessler, and R. Pesch, *A framework to evaluate public green spaces with an emphasis on recreational values for sustainable urban and rural areas: A systematic review and content analysis*. *Heliyon*, 2025. **11**(2).
- [21] Edeigba, B.A., et al., *Urban green spaces and their impact on environmental health: A Global Review*. *World J. Adv. Res. Rev*, 2024. **21**(2): p. 917-927.
- [22] Song, Y., B. Chen, and M.-P. Kwan, *How does urban expansion impact people's exposure to green environments? A comparative study of 290 Chinese cities*. *Journal of Cleaner Production*, 2020. **246**: p. 119018.
- [23] Babich, A., N. Alkhanov, and A. Baikhanov. *Green infrastructure as a factor in ensuring sustainable development*. in *BIO Web of Conference*. 2023. EDP Sciences.
- [24] Said, M.A. and M. Touahmia, *Evaluation of Allocated Areas for Parks and their Attributes: Hail City*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2020. **10**(1).
- [25] Yan, L., X. Jin, and J. Zhang, *Equity in park green spaces: a bibliometric analysis and systematic literature review from 2014-2023*. *Frontiers in Environmental Science*, 2024. **12**: p. 1374973.
- [26] Gupta, A., M. Yadav, and B.K. Nayak, *A Systematic Literature Review on Inclusive Public Open Spaces: Accessibility Standards and Universal Design Principles*. *Urban Science*, 2025. **9**(6): p. 181.
- [27] Ohmer, M.L., et al., *Community gardening and community development: Individual, social and community benefits of a community conservation program*. *Journal of Community Practice*, 2009. **17**(4): p. 377-399.
- [28] Klaus, V.H. and K. Kiehl, *A conceptual framework for urban ecological restoration and rehabilitation*. *Basic and Applied Ecology*, 2021. **52**: p. 82-94.

- [29] Salizzoni, E., et al., *Local planning practice towards resilience: insights from the adaptive co-management and design of a mediterranean wetland*. Sustainability, 2020. **12**(7): p. 2900.
- [30] Battisti, L., F. Larcher, and M. Devecchi, *Urban green management plan: Guidelines for European cities*. Frontiers in Horticulture, 2023. **2**: p. 1105159.
- [31] Bressane, A., et al., *Overcoming Barriers to Managing Urban Green Spaces in Metropolitan Areas: Prospects from a Case Study in an Emerging Economy*. Sustainability (2071-1050), 2024. **16**(16).
- [32] Trojanowska, M., *A universal standard for health-promoting places. Example of assessment—on the basis of a case study of Rahway River Park*. Budownictwo i Architektura, 2021. **20**(3): p. 57-82.
- [33] Twohig-Bennett, C. and A. Jones, *The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes*. Environmental research, 2018. **166**: p. 628-637.
- [34] Haq, S.M.A., *Urban green spaces and an integrative approach to sustainable environment*. Journal of environmental protection, 2011. **2**(5): p. 601-608.
- [35] Park, H. and M.-J. Oh, *A study on design strategy of urban parks in Seoul: focusing on cases of DreamForest, Magok Central Park, and Yongsan Park*. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 2016. **17**(3): p. 338-351.
- [36] Surma, M., *Sustainable urban development through an application of green infrastructure in district scale—A case study of Wrocław (Poland)*. Journal of water and land development, 2015.
- [37] Badiora, A.I., C.A. Wojuade, and A.S. Adeyemi, *Personal safety and improvements concerns in public places: An exploration of rail transport users' perception*. Journal of Place Management and Development, 2020. **13**(3): p. 319-346.
- [38] Juaneé Cilliers, E. and W. Timmermans, *Approaching value added planning in the green environment*. Journal of Place Management and Development, 2013. **6**(2): p. 144-154.
- [39] Iváncsik, V., et al., *How much is a public park worth? An ex ante methodology for impact and cost-benefit analysis on the example of Millenáris Széllkapu in Budapest*. Landsc. Archit. Art, 2019. **15**: p. 7-21.
- [40] Liu, R. and J. Xiao, *Factors affecting users' satisfaction with urban parks through online comments data: Evidence from Shenzhen, China*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021. **18**(1): p. 253.
- [41] Maniruzzaman, K.M., et al., *An analysis of residents' satisfaction with attributes of urban parks in Dammam city, Saudi Arabia*. Ain Shams Engineering Journal, 2021. **12**(3): p. 3365-3374.
- [42] Polko, P. and K. Kimic. *Condition of urban park infrastructure in the context of perceived security of park users*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. IOP Publishing.
- [43] Priadaniswari, R. *The perception of visitors towards the level of satisfaction on park (Case study: Singha Merjosari Park Malang)*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. IOP Publishing.
- [44] Wan, C., G.Q. Shen, and S. Choi, *Effects of physical and psychological factors on users' attitudes, use patterns, and perceived benefits toward urban parks*. Urban forestry & urban greening, 2020. **51**: p. 126691.
- [45] Wan, C. and G.Q. Shen, *Salient attributes of urban green spaces in high density cities: The case of Hong Kong*. Habitat International, 2015. **49**(October): p. 92-99.

- [46] Aweh, M.A., D. Sana, and T. Atchrimi, *Accessibility and Inclusiveness of Public Open Spaces in Fragile Contexts: A Case Study of Kaya, Burkina Faso*. Sustainability, 2025. **17**(7): p. 3115.
- [47] Błaszczuk, M., et al., *Quality of urban parks in the perception of city residents with mobility difficulties*. PeerJ, 2020. **8**: p. e10570.
- [48] Hariyani, D.S. and A.R. Pratama. *A pandemic response to the issues of inclusivity and accessibility in green open spaces*. in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. IOP Publishing.
- [49] Mohamed, A.A. and J. Kronenberg, *Users' experiences of park accessibility and attractiveness based on online review analytics*. Scientific Reports, 2025. **15**(1): p. 4268.
- [50] Wojnowska-Heciak, M., et al., *Urban parks as perceived by city residents with mobility difficulties: a qualitative study with in-depth interviews*. International journal of environmental research and public health, 2022. **19**(4): p. 2018.
- [51] Yu, B., et al., *Understanding Shanghai residents' perception of leisure impact and experience satisfaction of urban community parks: An integrated and IPA method*. Sustainability, 2018. **10**(4): p. 1067.
- [52] Ajmi, R., et al., *Developing a Qualitative Urban Green Spaces Index Applied to a Mediterranean City*. Urban Science, 2023. **7**(4): p. 115.
- [53] Fongar, C., et al., *Does perceived green space quality matter? Linking Norwegian adult perspectives on perceived quality to motivation and frequency of visits*. International journal of environmental research and public health, 2019. **16**(13): p. 2327.
- [54] Huang, Y., L. Ye, and Y. Chen, *Sustainable Urban Landscape Quality: A User-Perception Framework for Public Space Assessment and Development*. Sustainability, 2025. **17**(9): p. 3992.
- [55] Zhang, Y., et al., *Quality over quantity: Contribution of urban green space to neighborhood satisfaction*. International journal of environmental research and public health, 2017. **14**(5): p. 535.
- [56] Zhao, Y., et al., *Individual momentary experiences of neighborhood public spaces: Results of a virtual environment based stated preference experiment*. Sustainability, 2022. **14**(9): p. 4938.
- [57] Wang, P., L. Han, and R. Mei, *An impact asymmetry analysis of small urban green space attributes to enhance visitor satisfaction*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022. **19**(5): p. 2922.
- [58] Bertram, C. and K. Rehdanz, *The role of urban green space for human well-being*. Ecological economics, 2015. **120**: p. 139-152.
- [59] Gong, Y., et al., *Restorative effects of park visiting on physiology, psychology, and society and the factors influencing park visiting*. Sustainability, 2023. **15**(1): p. 841.
- [60] Kodali, H.P., et al., *The association of park use and park perception with quality of life using structural equation modeling*. Frontiers in public health, 2023. **11**: p. 1038288.
- [61] Li, Y., et al., *Could there be negative sentiments toward urban parks? An analysis of internal and external factors*. Urban Forestry & Urban Greening, 2025: p. 128920.
- [62] Li, H., D. Liu, and J. He, *Exploring differentiated conservation priorities of urban green space based on tradeoffs of ecological functions*. Sustainability, 2022. **14**(3): p. 1845.
- [63] Muqueeth, S., *Parks: A vital community condition*. Parks Stewardship Forum, 2021. **37**(1): p. 106-117.
- [64] Veckalne, R., A. Saidkhodjaev, and T. Tambovceva, *Public Perceptions of Urban Green Spaces: Effects on Physical and Mental Health*. Urban Science, 2025. **9**(4): p. 128.

- [65] Zhang, W., et al., *An analysis of the effects of different urban park space environment construction on national health*. *Frontiers in Environmental Science*, 2024. **12**: p. 1433319.
- [66] Elsayed, E.N. and A.N. Ashrry, *A Proposed Model for Measuring the Performance of Smart Public Parks*. *ERJ. Engineering Research Journal*, 2020. **43**(3): p. 245-260.
- [67] Saher, R., et al., *Assessing the Microclimate Effects and Irrigation Water Requirements of Mesic, Oasis, and Xeric Landscapes*. *Hydrology*, 2022. **9**(6): p. 104.
- [68] Wang, C., et al., *Optimization of residential green space for environmental sustainability and property appreciation in metropolitan Phoenix, Arizona*. *Science of The Total Environment*, 2021. **763**: p. 144605.
- [69] Mata, L., et al., *Indigenous plants promote insect biodiversity in urban greenspaces*. *Ecological Applications*, 2021. **31**(4): p. e02309.
- [70] Liu, H., et al., *Decision-making of green space utilization and protection in urban fringe based on biodiversity trade-off*. *Sustainability*, 2020. **12**(4): p. 1373.
- [71] Lis, A., Ł. Pardela, and P. Iwankowski, *Impact of vegetation on perceived safety and preference in city parks*. *Sustainability*, 2019. **11**(22): p. 6324.
- [72] Felappi, J.F., et al., *Urban park qualities driving visitors mental well-being and wildlife conservation in a Neotropical megacity*. *Scientific Reports*, 2024. **14**(1): p. 4856.
- [73] Shcherbina, E., E. Gorbenkova, and M. Slepnev. *Urban-planning sustainability problems in a city natural framework*. in *MATEC Web Conf*. 2017.
- [74] Liu, T.-M. and C.-M. Tien, *Assessing tourists' preferences of negative externalities of environmental management programs: A case study on invasive species in Shei-Pa National Park, Taiwan*. *Sustainability*, 2019. **11**(10): p. 2953.
- [75] Çiçek, İ., et al., *Glacial Landscape and Old-Growth Forests of the Mount Kaçkar National Park (Eastern Black Sea Region)*, in *Landscapes and Landforms of Turkey*, C. Kuzucuoğlu, A. Çiner, and N. Kazancı, Editors. 2019, Springer. p. 437-446.
- [76] Belkayalı, N. and M.D. Kesimoğlu, *The stakeholders' point of view about the impact of recreational and tourism activities on natural protected area: a case study from Küre Mountains National Park, Turkey*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2015. **29**(sup1): p. S128-S135.
- [77] <https://www.dubaimiraclegarden.com/> (Erişim tarihi: 16.07.2025)
- [78] Ferguson, M.D., et al., *Whether they return: Modeling outdoor recreation behaviors, decision making, and intention-to-return in congressionally designated wilderness*. *Forests*, 2022. **13**(7): p. 1018.
- [79] Arni, A.G. and W.A. Khairil, *Promoting collaboration between local community and park management towards sustainable outdoor recreation*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013. **91**: p. 57-65.
- [80] DiCicco, J.M., *Long-term urban park ecological restoration: a case study of Prospect Park, Brooklyn, New York*. *Ecological Restoration*, 2014. **32**(3): p. 314-326.
- [81] <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/rize/gezilecekyer/kackar-daglari-milli-parki> (Erişim tarihi: 16.07.2025)
- [82] <https://www.parkcentralny.com/2022/07/15/hidden-history-central-park> (Erişim tarihi: 16.07.2025)

PEYZAJ MİMARLIĞI PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE'DEKİ ÇEVRE ODAKLI SİVİL TOPLUM KURULUŞLARININ İŞLEVSEL ANALİZİ

Dr. Reva ŞERMET ACAR

Ankara Üniversitesi, rsermet@ankara.edu.tr - 0000-0001-6682-4684

Doç. Dr. Fatma AŞILIOĞLU

Ankara Üniversitesi, fatma.asilioglu@ankara.edu.tr - 0000-0001-9869-9638

Öğr. Gör. Hande ASLAN

Ankara Üniversitesi, handeaslan@ankara.edu.tr - 0000-0002-2659-3604

ÖZET

Çevre sorunlarının bir çevre krizi haline dönüşmesi ve iklim değişikliğinin etkilerinin yoğunlaşması, sürdürülebilir çevre yönetimini hem ulusal hem de küresel ölçekte öncelikli bir mesele haline getirmiş, soruna yönelik geliştirilen sürdürülebilirlik politikalarında sivil toplum kuruluşlarına (STK) da önemli roller biçilmiştir. Bu süreçte çevre odaklı sivil toplum kuruluşları yalnızca ekolojik savunuculuk yapmakla kalmayıp, toplumsal farkındalık oluşturmak, kamu politikalarını yönlendirmek ve yerel düzeyde uygulamaya yönelik projeler üretmek gibi çok yönlü roller üstlenmektedir. Bu roller, doğa-kültür etkileşimini gözetken ve sürdürülebilir mekan üretimini hedefleyen peyzaj mimarlığı meslek disipliniyle önemli bir kesişim alanı yaratmaktadır. Yeşil altyapı planlaması, ekolojik koridorların sürekliliği, kentsel açık-yeşil alanların yönetimi gibi konular, STK'larla peyzaj mimarlarının ortak çalışma zeminlerini oluşturmaktadır; ancak bu etkileşimin kapsamı literatürde sınırlı biçimde ele alınmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'de çevre odaklı faaliyet gösteren öncü STK'ların peyzaj alanları üzerindeki işlevini peyzaj mimarlığı perspektifiyle analiz etmektedir. Çalışmada STK'ların tematik odakları, yöntemsel yaklaşımları ve uygulama alanları değerlendirilerek, peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğine yönelik yaklaşımları/etkileri örnek olaylar üzerinden analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Peyzaj mimarlığı, çevresel sivil toplum kuruluşları, sürdürülebilirlik, katılımcı planlama, çevre politikası

1. Sivil Toplum Kuruluşları – Sürdürülebilirlik - Peyzaj Mimarlığı İlişkisi

Doğal kaynakların sınırsız olduğu varsayımıyla, insan refahını ve ihtiyaçlarını önceliklendiren insan merkezli çevre anlayışı, çevresel bozulma ve yıkıcı tahribatlara zemin hazırlamıştır [1]. Küresel çapta yaşanan çevresel krizler; doğal kaynakların tükenmesi, biyolojik çeşitlilik kaybı ve iklim değişikliği gibi önemli sorunları gündeme taşıyarak, hem dünya genelinde hem de Türkiye'de sürdürülebilir kalkınma politikalarının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. İnsan merkezli yaklaşımın yarattığı çevre sorunlarının fark edilmesiyle birlikte, düşünsel kökleri 1800'lü yıllara dayanan çevre merkezli anlayış ve çevrecilik hareketleri 1960'lardan itibaren

güçlenmiş ve yaygınlaşmıştır. Bu doğrultuda, çevre bilincinin artmasıyla 1970’li yıllarda kavramsallaşan ‘sürdürülebilir gelişme’ ilkesi, günümüzde yerel, ulusal ve uluslararası düzeyde kalkınma politikalarına yön vermiştir [2].

Sürdürülebilirlik hedeflerinin başarısı; devlet, özel sektör, sivil toplum kuruluşları (STK), akademi, medya ve bireylerin birlikte ve uyumlu hareket etmesine bağlıdır. Toplumun kendi dinamikleriyle örgütlenmesini ve kamu otoritesinden bağımsız kolektif eylemler gerçekleştirmesini mümkün kılan STK’lar, sürdürülebilirliğin çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarında hem kamu politikalarının denetlenmesi hem de toplumsal farkındalığın artırılması açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Yerel düzeyde katılım mekanizmalarını güçlendiren, küresel ölçekte ise karar alma süreçlerine dahil olabilen STK’lar; doğal kaynakların korunması, iklim değişikliğiyle mücadele, çevre eğitimi ve savunuculuk faaliyetleri yoluyla sürdürülebilir gelişmenin hem izleyicisi hem de uygulayıcısı konumundadır. Nitekim 25 Eylül 2015 tarihinde gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Zirvesi’nde kabul edilen, 17 hedef ve 169 alt hedeften oluşan "Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi"nin 11.3.2 göstergesi; “*Düzenli ve demokratik işleyen kentsel planlama ve kent yönetimine, sivil toplumun doğrudan katılım mekanizması bulunan şehirlerin oranı*” olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Bu bağlamda, sürdürülebilirliğin sadece devlet ve piyasa aktörleriyle değil, sivil toplumun aktif katılımıyla sağlanabileceği gerçeği gün geçtikçe daha fazla kabul görmektedir.

1987 tarihli Brundtland Raporu ile sınırları tanımlanan sürdürülebilirlik yalnızca çevresel korumayı değil, toplumsal ve ekonomik boyutları da içerecek şekilde tanımlanmıştır [4]. Bu üçlü yapı, özellikle mekansal planlama ve peyzaj tasarımı süreçlerinde bütüncül yaklaşımların benimsenmesini gerekli kılmıştır. Peyzaj mimarlığı disiplini de bu bağlamda sürdürülebilir gelişmenin mekânsal uygulayıcılarından biri haline gelmiştir. Sürdürülebilir peyzaj planlaması; ekolojik süreçlerin devamlılığını sağlamayı, biyolojik çeşitliliği korumayı, doğal ve kültürel peyzaj değerlerini gözetmeyi ve toplumların mekânsal refahını artırmayı amaçlar [5]. Bu planlama anlayışı içinde katılımcı yaklaşımlar ve çok aktörlü yönetim yapıları büyük önem taşımaktadır. Sivil toplum kuruluşları da bu yapının önemli bileşenleri arasında yer almakta; toplumsal katılım ve çevresel savunuculuk yoluyla planlama süreçlerine etki etmektedir.

Özellikle son yıllarda iklim değişikliğiyle mücadelede ön plana çıkan doğa temelli çözümler (Nature-Based Solutions), sürdürülebilirlik ve peyzaj yönetimi açısından merkezi bir kavram haline gelmiştir [6]. Yeşil altyapı sistemleri, geçirgen yüzeyler ve ekolojik koridorlar gibi uygulamalar, peyzaj mimarlığı disiplini ile doğrudan ilişkilidir. Bununla birlikte peyzaj mimarlığının çalışma konularından doğal peyzaj alanları, kırsal peyzaj alanları, kentsel açık ve yeşil alanlar ve kültürel peyzajlar yanlış politikalar ve uygulamalar nedeniyle; madencilik, enerji projeleri, yapılaşma baskısı, orman tahribatı gibi tehditlerle karşı karşıya kalmaktadır. STK’lar peyzaj alanlarının planlama, tasarım ve uygulama süreçlerinde özellikle kamuoyu oluşturma, halkla ilişkiler kurma ve alternatif çözüm önerileri geliştirme konularında sürece dahil olmaktadır.

Bu çalışmanın kuramsal temelini peyzaj alanlarının sürdürülebilirliği, sivil toplum ve katılımcı planlama kavramları şekillendirmiştir. Çalışmanın materyalini Türkiye’de bulunan çevre odaklı

STK'ların kamuya açık web siteleri, stratejik belgeleri, yıllık faaliyet raporları, proje duyuruları, yayınlanmış politika belgeleri ve akademik literatürde yer alan değerlendirmeler oluşturmaktadır. Çalışma, nitel araştırma yöntemine dayalı olarak tasarlanmıştır. Amaç, Türkiye'de çevre odaklı faaliyet gösteren seçili sivil toplum kuruluşlarının peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğine yönelik çalışmalarını analiz etmektir. Bu bağlamda, belge tarama ve örnek olay inceleme yöntemi birlikte kullanılmıştır.

2. Çevre Odaklı Sivil Toplum Kuruluşlarının Gelişimi

Sivil toplum, en genel ifadeyle, gönüllülük esasına dayanan, kendi kendini oluşturan ve sürdüren, hukuki düzenlemeler ya da ortak değerler çerçevesinde sınırlanan, devletten bağımsız ve örgütlü bir toplumsal yaşam alanı olarak tanımlanabilir [7]. Bu yapı, siyasi otoritenin iznine ihtiyaç duymaksızın gelişen ilişkilerle şekillenir ve bireylerin özgürce amaçlarına ulaşabilmesini mümkün kılar. STK ise bu alan içinde gönüllülük esasına dayanan, kâr amacı gütmeyen yapılar olarak tanımlanır. Gönüllülük ilkesine dayanması ve maddi çıkar sağlamaya yönelik olmamaları, STK'ları diğer toplumsal hareketlerden ayıran temel özelliklerden biridir [8]. Türkçe literatürde STK'ları tanımlamak üzere vakıf, dernek, sendika, kooperatif, oda, kulüp ve platform gibi farklı kavramlar kullanılmaktadır [9]. Ancak bu çalışma bağlamında, kavramsal bütünlük sağlamak amacıyla yalnızca gönüllü kuruluşlar, çevreci sivil toplum örgütleri, vakıflar ve dernekler dikkate alınmış; bu yapılar genel olarak "çevre odaklı sivil toplum kuruluşları" şeklinde ifade edilmiştir.

Çevresel konuların küresel ölçekte önem kazanmasıyla birlikte, çevre odaklı STK'lar da uluslararası düzeyde görünürlük kazanmaya başlamıştır. Bu yapıların ortaya çıkışında, insanın doğaya verdiği zararın farkına varması ve bunun sorumluluğunu üstlenmesi gerektiği düşüncesi belirleyici olmuştur [10]. 19. yüzyılda ABD ve İngiltere'de ortak malların ve yeşil alanların korunmasına yönelik girişimlerle temelleri atılan çevre hareketleri zamanla kurumsallaşarak güçlü örgüt yapılarına dönüşmüştür [11]. 1892 yılında kurulan Sierra Club gibi büyük ölçekli çevre örgütlerinin üye sayısı 1.000.000'u aşmıştır [12]. Modern anlamda ilk çevreci STK olarak kabul edilen Friends of the Earth (Yeryüzü Dostları), 1969 yılında kurulmuş ve küresel ölçekte çevresel savunuculuğun yaygınlaşmasında öncü rol oynamıştır. 1974 yılında kurulan Avrupa Çevre Bürosu (EEB), 41 ülkeden 190'dan fazla kuruluşu ve 30 milyondan fazla bireysel üye ve destekçiyi bir araya getirerek önemli bir ağ yapısı oluşturmuştur. Türkiye'den TEMA Vakfı da bu oluşumun bir parçası konumundadır [13].

2.1. Türkiye'de Çevre Odaklı STK'lar

Türkiye'de çevre odaklı STK'ların gelişimi, toplumsal, siyasal ve hukuki dinamiklerle şekillenmiş çok katmanlı bir süreçtir. Cumhuriyetin ilk dönemlerinde çevre koruma, daha çok kamu eliyle ve yasal düzenlemelerle (örneğin Köy Kanunu, Hıfzıssıhha Kanunu) sağlanmaya çalışılmış; 1980-2000 arasında ise yerel ve ulusal boyutta çevresel etkinlik artmış, dernekleşme süreci hız kazanmıştır. Bu dönemde ayrıca, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı'nın çabalarıyla 1982 Anayasası'na çevreyle ilgili özel bir maddenin eklenmesi ve ardından çevreye dair birçok yasal düzenlemenin yapılması, çevre politikalarının kurumsal çerçevesinin oluşmasına önemli katkı

sağlamıştır. 2000’li yıllara gelindiğinde ise çevreci hareketler geniş kitlelerin katılımıyla ulusal ölçekte daha görünür hale gelmiş; farklı temalarla ilgilenecek kapsayıcılığını artırmıştır [14].

Bu gelişim süreci, Türkiye’de çevre odaklı sivil toplum kuruluşlarının yalnızca doğayı koruma faaliyetleriyle sınırlı kalmayıp; doğa temelli planlama, yerel çevre sorunlarına müdahale, kamuoyu bilinci oluşturma ve çevre eğitimi gibi çok yönlü alanlarda da etkin aktörler hâline gelmesini sağlamıştır. Özellikle son 50 yıllık dönemde vakıflar, dernekler ve topluluklar aracılığıyla sivil toplumun çok boyutlu bir gelişim göstermesi, bu yapıların toplumsal yapıda daha görünür ve etkili olmalarına olanak tanımıştır. Türkiye’de çevre üzerine çalışan STK’lar, dernek, vakıf, platform, kent konseyi, bölgesel platform, internet platformu, yerel gündem, üniversite öğrenci kulübü, yurttaş inisiyatifi, çevre hareketleri ve koalisyonlar gibi çok çeşitli örgütlenmelerinin çatısı altında çalışmaktadır [15]. Çevre odaklı STK’lar, yürüttükleri farkındalık kampanyaları, savunuculuk çalışmaları ve eğitim programları ile bireylerin çevreye duyarlılığını artırmayı ve sürdürülebilir bir gelecek inşa etmeyi hedeflemektedir [16]. Tüm bu olumlu gelişmelere rağmen Türkiye’de sivil toplum kuruluşlarının kurumsal kapasiteleri ve etki düzeyleri bakımından önemli yapısal sorunlar barındırdığı görülmektedir. Türkiye Sivil Toplum Gelişim Endeksi verilerine göre; STK’ların %70’i teknik bilgi ve beceri açısından gelişime ihtiyaç duymaktadır. Faaliyet planlaması ve uygulama süreçlerinde ise yalnızca %52’inde nitelikli uzmanların görev aldığı belirtilmektedir. Aynı rapora göre, Türkiye’deki STK’ların kamu politikalarına etki düzeyi %32 ile sınırlı kalmaktadır. Ayrıca bu kuruluşlar, sınırlı insan kaynağı ve gönüllü desteğiyle varlıklarını sürdürmeye çalışmaktadır [17]. Türkiye’de STK sayısındaki artışa karşın, gönüllü katılımın aynı ölçüde artmadığı; üyelik oranlarının ve gönüllü eğiliminin hâlen düşük seviyelerde seyrettiği, Birleşmiş Milletler tarafından da vurgulanmaktadır [18].

Bu çalışmada incelenen çevre odaklı STK’lar; (1) çevresel sürdürülebilirlik odaklı vizyona sahip olma, (2) Türkiye genelinde ya da bölgesel ölçekte tanınırlık, (3) açık kaynaklı bilgi ve dokümantasyon sunma ve (4) doğrudan ya da dolaylı biçimde peyzaj mimarlığı ile ilişkili faaliyet yürütme kriterlerine göre seçilmiştir. Seçilen STK’lar ulusaldan yerele doğru sıralanmıştır: Doğal Hayatı Koruma Derneği (WWF), Çevre ve Kültür Değerlerini Koruma ve Tanıtma Vakfı (ÇEKÜL), Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı (TEMA), Yeşil Barış Akdeniz (Greenpeace Akdeniz), Türkiye Deniz Temiz Derneği (TURMEPA), Doğa Derneği, Buğday Derneği, Sürdürülebilir Kalkınma Derneği (SKD Türkiye), Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), 350/Türkiye, Sürdürülebilirlik Adımları Derneği (SADE), Sürdürülebilir Yaşam Derneği (SUYADER), Munzur Koruma Kurulu, Yeşil Artvin Derneği, Validebağ Gönüllüleri, Kazdağı Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Derneği, Bodrum Tohum Derneği, Akdeniz Koruma Derneği, Mezopotamya Ekoloji Hareketi ve Muğla Çevre Platformu (MUÇEP)’dur. Bu kuruluşlar; odak alanları, faaliyet biçimleri, katılım yöntemleri ve peyzaj mimarlığıyla olan ilişki düzeyleri açısından karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.1’de analiz edilmiş çizelgede yer alan bilgiler, [19]–[37] numaralı kaynaklardan derlenmiştir.

0. Türkiye'deki Çevresel Odaklı Seçili STK'ların Karşılaştırılması

| STK Adı | Kuruluş Yılı | Odak Alanları | Peyzaj Mimarlığı ile İlişki | Faaliyetler | Ölçek | Uluslararası Ağı |
|---------------------------|--------------|--|---|--|-----------------------|------------------|
| WWF-Türkiye | 1975 | Doğa koruma, biyoçeşitlilik, iklim | Ekosistem hizmetleri, doğal peyzajlar, koruma planları | Bilimsel projeler, iletişim | Ulusal/ Uluslar arası | Evet |
| ÇEKÜL Vakfı | 1990 | Doğal, tarihsel, kültürel miras, kent çevresi | Kentsel peyzaj, kültürel peyzaj koruma projeleri | Koruma, Eğitim, | Ulusal | Kısmen |
| TEMA Vakfı | 1992 | Erozyonla mücadele, ağaçlandırma, doğal varlıkları koruma | Doğa temelli çözümler, ağaçlandırma projeleri | Savunuculuk, Uygulama, Eğitim, Proje, Farkındalık | Ulusal | Evet |
| Greenpeace Akdeniz | 1992 | İklim krizi ile mücadele, enerji, plastik, çevresel adalet | Kentsel alanlar ve kirlilikle mücadelede dolaylı katkı | Savunuculuk, Kampanya, Eylem, Araştırma | Ulusal/ Uluslar arası | Evet |
| TURMEPA | 1994 | Deniz ve kıyı alanlarını koruma, deniz kirliliğini önleme, çevre eğitimi | Kıyı alanlarının planlanması, korunması ve sürdürülebilir kullanımıyla ilgili çalışmalar; kıyı peyzajı, su ve ekosistem temelli yaklaşımlar | Atık toplama ve alım sistemleri, Deniz ve kıyı temizlik kampanyaları, çevre eğitimi projeleri, denizcilik sektörüne yönelik bilinçlendirme | Ulusal | Evet |
| Doğa Derneği | 2002 | Biyçeşitlilik, doğa hakları | Ekolojik koridor, kuş yolları gibi doğal peyzajın korunması | Koruma projeleri | Ulusal | Evet |
| Buğday Derneği | 2002 | Ekolojik yaşam, permakültür | Ekolojik bahçecilik, yeşil alan tasarımı, topluluk bahçeleri | Ekolojik pazar, rehberlik | Ulusal | Evet |

Çizelge 1.1. Türkiye'deki Çevresel Odaklı Seçili STK'ların Karşılaştırılması (devamı)

| STK Adı | Kuruluş Yılı | Odak Alanları | Peyzaj Mimarlığı ile İlişki | Faaliyetler | Ölçek | Uluslararası Ağı |
|------------------------------|--------------|--|--|---|--------------------------|------------------|
| SKD Türkiye | 2004 | Kurumsal sürdürülebilirlik, yeşil dönüşüm, İklim kriziyle mücadele, doğal kaynakları koruma ekonomik dönüşüm | Yeşil altyapı, sürdürülebilir yerleşimler, karbon ayak izi azaltımı | Raporlama, rehberlik, iş dünyasıyla işbirliği | Ulusal | Evet |
| ÇEDBİK | 2007 | Yeşil binalar, çevreci mimarlık | Sürdürülebilir yerleşimler, Yeşil binalar | Eğitim, sertifika, proje desteği | Ulusal | Evet |
| 350.org / 350 Türkiye | 2008 | İklim kriziyle mücadele, fosil yakıtların kullanımının sonlandırılması, yenilenebilir enerji | Doğa temelli çözümleri ve kamusal alan planlamalarını destekleyen kampanyalar, sürdürülebilir yeşil altyapı | İklim kampanyaları, kamuoyu farkındalığı, küresel iklim eylemleri, projeler, yerel hareketleri destekleme | Ulusal/ Uluslar arası | Evet |
| SADE | 2015 | Sürdürülebilir kalkınma hedefleri | SKH 11: Sürdürülebilir şehirler kapsamında peyzajla ilgili içerikler | Etkinlik, podcast, eğitim | Ulusal | Hayır |
| SUYADER | 2019 | Sürdürülebilir yaşam, ekolojik farkındalık | Kent tarımı, yeşil alan kullanımı, ekolojik tasarım | Eğitimler, yerel uygulama projeleri | Ulusal | Hayır |
| Yeşil Artvin Derneği | 1995 | Doğal varlıkların korunması, orman ekosistemlerinin savunulması; madencilik karşıtı mücadele | Doğal peyzajların tahribatına karşı mücadele, vadiler ve orman alanları savunuculuğu, peyzaj temelli halk katılımı | Hukuki süreç yürütme, kamuoyu bilgilendirme kampanyaları, miting ve yürüyüş organizasyonları | Yerel | Hayır |

Çizelge 1.1. Türkiye'deki Çevresel Odaklı Seçili STK'ların Karşılaştırılması (devamı)

| STK Adı | Kuruluş Yılı | Odak Alanları | Peyzaj Mimarlığı ile İlişki | Faaliyetler | Ölçek | Uluslararası Ağı |
|--|--------------|---|---|--|-------|------------------|
| Munzur Koruma Kurulu | 2000 | Ekosisteminin korunması, biyolojik çeşitlilik, HES ve madencilik karşıtı mücadele | Doğal peyzajların korunmasına yönelik savunuculuk, halk temelli katılım, | Hukuki mücadele, kamuoyu oluşturma, miting ve forumlar, ekoloji odaklı yerel hareketleri örgütleme | Yerel | Hayır |
| Validebağ Gönüllüleri | 2001 | Sürdürülebilir Yerleşim, Ekolojik farkındalık | Kentsel açık ve yeşil alan kullanımı | Savunuculuk, Katılımcılık, | Yerel | Hayır |
| Kazdağı Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Derneği | 2007 | Doğa savunuculuğu, madencilik karşıtı mücadele | Ekosistem bütünlüğü, doğa peyzajlarının korunması | Hukuki mücadele, halk bilgilendirme | Yerel | Hayır |
| Bodrum Tohum Derneği | 2010 | Yerel tohumların korunması, ekoloji, biyolojik çeşitlilik | Kırsal peyzajın korunması ve kültürel peyzaj değerlerinin sürdürülebilirliği | Tohum takasları, yerel üretici destekleri, eğitimler, geleneksel tarım bilgi aktarımı | Yerel | Hayır |
| Akdeniz Koruma Derneği | 2012 | Biy çeşitlilik, kıyı koruma alanları, balıkçılık yönetimi, kültürel miras | Kıyı peyzajlarının korunması, kıyı planlamada bilimsel veri üretimi ve koruma yaklaşımı | Deniz koruma alanları oluşturmak, tür izleme, yerel balıkçılarla işbirliği, eğitim ve politika önerileri | Yerel | Evet |
| Mezopotamya Ekoloji Hareketi | 2015 | Ekolojik yıkım, çevresel adalet, su hakkı, | Ekolojik peyzaj bütünlüğünü savunma | Ekoloji konferansları, su ve enerji projelerine karşı direniş, doğa koruma faaliyetleri | Yerel | Kısmen |
| MUÇEP | 2016 | yerel direniş, çevresel hak savunuculuğu | Doğa koruma temelli peyzaj planlarına karşı halk katılımı, dava takibi | ÇED süreçlerine müdahale, kamuoyu oluşturma, hukuki mücadele, halk forumları | Yerel | Hayır |

“Çevre odaklı sivil toplum” çok boyutlu ve değişken bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Neredeyse her grup kendince anlamlı bulduğu sorunlar çerçevesinde örgütlenip bir eylem biçimi belirleyebilmektedir [39]. Çizelgede yer alan STK’ların kimi genel anlamıyla çevre ile ilgilenirken kimi ismine bağlı kalarak spesifik konularda çalışmalarını yürütmektedir. Örneğin, TURMEPA, bir çevre kurumu olsa bile, spesifik olarak denizler ile ilgilenmektedir ve projelerini buna göre yürütmektedir. ÇEKÜL gibi bazı STK’lar ise kültür ile ilgili de projeler başlatıp, .kültürü korumak, yaşatmak ve kentlerin tarihi dokusunu yeniden kazandırmak amacıyla restorasyon projeleri yürütmektedir.

3. Türkiye’den Uygulama Örnekleriyle Sivil Toplum Katılımı

Sürdürülebilir peyzaj planlamasında STK’ların Türkiye’deki rolü, hem yerel düzeyde yürütülen çevre koruma faaliyetleri hem de ulusal politikaların şekillenmesinde artan etkileriyle giderek daha görünür hâle gelmiştir. STK’lar; çevre eğitimi ve kamuoyu bilinçlendirme çalışmaları, ağaçlandırma ve doğal alanların iyileştirilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik hukuksal girişimler ve kamu kurumlarıyla işbirlikleri yoluyla çevrenin korunması, sürdürülebilir kullanımı ve doğru planlanmasına katkı sağlamaktadır.

Türkiye’de çevre ve peyzaj alanlarının korunması, oluşturulması ya da yeniden işlevlendirilmesi süreçlerinde STK’lar doğrudan veya dolaylı olarak etkili olabilmekte; bu durum çeşitli mekânsal müdahale biçimleriyle somutlaşmaktadır. Türkiye’de ve dünyada çevreci sivil toplum kuruluşları üzerine yapılmış değerli çalışmalar mevcuttur [40,41,42,15,43,44,45,14]. Bu çalışmalar incelendiğinde sivil toplumun çevre ve peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğine yönelik çalışmaları şu başlıklar altında değerlendirilebilir:

1. Doğrudan/yasal savunuculuk yoluyla koruma statüsü kazandırma çalışmaları
2. Katılımcı projelerle yeni peyzaj alanlarının oluşturulma çalışmaları
3. Restorasyon ve rehabilitasyon yoluyla peyzajın yeniden kazanılması çalışmaları

Bu başlıklar çerçevesinde disiplinler arası iş birliklerini içeren ve saha uygulamalarıyla desteklenen örnek olaylar ise şöyledir:

1. Doğrudan/yasal savunuculuk yoluyla koruma statüsü kazandırma çalışmaları

STK’ların en yaygın faaliyetlerinden biri, belirli doğal veya kültürel peyzaj alanlarının korunmasına yönelik hukuki ve yönetsel süreçlerin işletilmesidir. Bu bağlamda STK’lar, alanın ekolojik, biyolojik veya kültürel değerlerini vurgulayan bilimsel raporlar hazırlamakta; ekosistem hizmetlerine dayalı analizler ve kamuoyu farkındalığına yönelik kampanyalarla karar alıcılar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Geliştirilen bu stratejiler, ilgili alanın yasal koruma statüsü kazanmasına doğrudan katkı sunmaktadır. Başka bir deyişle, STK’lar belirli bir peyzaj alanının doğa koruma, ekoloji veya kültürel miras açısından taşıdığı önemi kamuoyuna ve ilgili kamu kurumlarına taşıyarak, alanın doğal sit, milli park, tabiat parkı ya da Ramsar alanı gibi koruma statüleriyle tescillenmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Özellikle sulak alanlar, orman

ekosistemleri ve kıyı peyzajları gibi ekolojik açıdan hassas bölgelerde bu tür savunuculuk pratikleri, alanın uzun vadeli sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Ege Denizi kıyısında yer alan Gediz Deltası, Türkiye'deki sivil toplum kuruluşlarının doğrudan savunuculuk yoluyla peyzaj koruma politikalarına etkisinin önemli örneklerinden biridir. Doğa Derneği ve EgeDoğa başta olmak üzere çeşitli STK'lar, bölgede yasadışı yapılaşma ve çamur dökümüne yönelik girişimlere karşı bir dizi hukuki mücadele yürütmüş ve bu davaların büyük çoğunluğunda kazanım sağlamıştır. Bu çabaların yanı sıra, İzmir Körfezi'nde Çiğli ile Balçova ilçeleri arasında planlanan ve 2017 yılında olumlu ÇED kararı verilen Körfez Geçiş Projesi, Doğa Derneği, TMMOB, EGEÇEP ve yurttaşların açtığı davalar sonucunda 2018 yılında yargı kararıyla iptal edilmiştir [46]. Bu gelişme, çevre odaklı STK'ların çevresel etki değerlendirme süreçlerini etkileyebilecek ölçekte kararları geri aldırma gücünü göstermesi açısından önemlidir. Dernek, Gediz Deltası'ndaki koruma statülerindeki değişiklik ve alana yönelik müdahalelere yönelik savunuculuk çalışmalarına, ilgili paydaşlarla işbirliği içerisinde devam etmektedir. Bu örnek, STK'ların bilimsel temelli savunuculuk, hukuki müdahale ile peyzaj koruma süreçlerine etkili biçimde katkı sunduğunu göstermektedir.

Bir diğer örnek Kaz Dağları'nda maden ruhsatlarının iptaline yönelik TEMA öncülüğünde yürütülen kamuoyu kampanyalarıdır. Altın madeni arama faaliyetleri nedeniyle çevresel tehditle karşılaşan Kaz Dağları TEMA Vakfı'nın öncülüğünde başlatılan kamuoyu kampanyalarıyla güçlü bir toplumsal tepkinin oluşmasını sağlamıştır. 2019 yılında başlatılan "Kazdağları Hepimizin" kampanyası kapsamında 300 bini aşkın imza toplanmış, bölgede yüzbinlerce ağacın kesilmesine karşı büyük çaplı protestolar organize edilmiştir. Süreç içerisinde ÇED raporlarının hukuka aykırı olduğu gerekçesiyle davalar açılmış; ruhsat süresinin dolması ve kamu baskısı sonucu şirket faaliyetlerini durdurmak zorunda kalmıştır. Aynı zamanda TEMA, madencilik faaliyetlerinin bölgedeki ekosistem hizmetleri üzerindeki etkilerine ilişkin kapsamlı bilimsel raporlar yayımlamış; bu sayede hem karar alıcılara hem de kamuoyuna veri temelli bilgi sunmuştur [47]. Bu süreç STK'ların yalnızca hukuki ve kampanya araçlarını değil, peyzajın korunmasına yönelik bilimsel temelli argümanları da etkin biçimde kullandığını göstermektedir. Ulusal ölçekte faaliyet gösteren TEMA'nın yanı sıra yerel ölçekte Kazdağı Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Derneği başta olmak üzere diğer birçok yerel inisiyatifin gerek hukuki gerek kampanya yürütme çalışmalarıyla bu süreçte aktif rol alması, Kaz Dağları'nın kamuoyunun ve yerel halkın çevre haklarına sahip çıktığı simgesel bir alan haline gelmesine neden olmuştur.

2. Katılımcı projelerle yeni peyzaj alanlarının oluşturma çalışmaları

STK'ların ikinci faaliyet biçimi, katılımcı planlama ve yerel aktörlerle işbirliği yoluyla yeni peyzaj alanlarının oluşturulmasını kapsamaktadır. Yerel halkın ve uzmanların dahil olduğu süreçlerde çoğunlukla kentsel veya kırsal bağlamda terk edilmiş, işlevini yitirmiş ya da dönüşüm potansiyeline sahip mekanlar kent içi açık alanlara, topluluk bahçelerine ya da kırsal peyzajların tasarlanması ve uygulamaya geçirilmesi ile yeniden işlevlendirilmesi çalışmalarını içerir. Bu tür projeler, toplumsal katılımı teşvik ederek sürdürülebilirliğin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda sosyal boyutunu da güçlendirmektedir. Bir önceki faaliyet biçimine örnek

olarak verilen Gediz Deltasında yürütülen koruma çabaları yalnızca hukuki savunuculukla sınırlı kalmamış; katılımcı ve çok aktörlü yönetim modelleri ile desteklenmiştir. Doğa Derneği'nin öncülüğünde başlatılan ve UNESCO Doğa Mirası Listesi'ne dahil olma hedefi taşıyan kampanya sonrasında İzmir Büyükşehir Belediyesi ile iş birliği kurulmuş; başvuru süreci başlatılarak koordinasyon ekibi ve irtibat ofisi oluşturulmuş ve binlerce bireysel katılımcının desteğiyle geniş bir kamuoyu etkisi yaratılmıştır. 2020'den bu yana kuş göçleri, tür izleme ve ekosistem araştırmalarını içeren kapsamlı biyoçeşitlilik çalışmaları yürütülmektedir. Bu sürecin sonucunda, İzmir Büyükşehir Belediyesi 2019 yılında Doğa Derneği ile iş birliğine giderek "UNESCO Dünya Mirası Yolunda Gediz Deltası Çalıştayı"nı düzenlemiş ve alanın UNESCO başvuru sürecini başlatmıştır [46].

Bir diğer örnek uygulama Yeryüzü Derneği'nin İstanbul'da gerçekleştirdiği kent bahçesi projeleridir. Proje ile şehirde yaşayan insanların betonlaşma ve kentleşme sebebiyle topraktan kopmasına, sağlıklı gıdaya ulaşmanın zorlaşmasına çözüm olarak İstanbul'un farklı yerlerinde tarımsal üretim yapan irili ufaklı 1350 tane kent bahçesi oluşturulmuş, bunun yanı sıra her mahallede bir bostan fikri ile Fenerbahçe Topluluk Bahçesi de Kadıköy Bostanları/ Fenerbahçe başlığı ile Kadıköy Bostanları projesine dahil edilmiştir [48,49].

ÇEDBİK gibi kuruluşlar ise yeşil binalar ve sürdürülebilir yerleşimler bağlamında verdikleri sertifika, eğitim ve danışmanlıklar ile katılımcı planlama ve yerel aktörlerle iş birliği noktasında sürdürülebilir peyzaj alanlarının oluşturulmasına katkı sunmaktadır.

3. Restorasyon ve Rehabilitasyon Yoluyla Peyzajın Yeniden Kazanılması Çalışmaları

Tahrip edilmiş veya yapılaşma baskısı altındaki peyzaj alanlarının ekolojik restorasyon ve fonksiyonel rehabilitasyon yoluyla yeniden kazanılması da STK'ların etkili olduğu bir diğer stratejik faaliyet alanıdır. Bu yaklaşım, hem fiziksel çevrenin iyileştirilmesini hem de alanın eski ekolojik ve sosyo-kültürel işlevlerinin geri kazandırılmasını hedefler. Bu tür müdahalelerde doğa temelli çözümler, yerli türlerin kullanımı, minimal yapısal müdahaleler ve halk katılımı esas alınmaktadır. Bu yönüyle STK'ların yeniden işlevlendirme çalışmaları peyzaj mimarlığı disiplinine doğrudan katkı sunar.

İstanbul Üsküdar'da bulunan Validebağ Korusu süreci buna örnek olarak verilebilir. 1998'de başlatılan imza kampanyasıyla korunun 1. derece doğal sit alanı ilan edilmesini sağlamalarıyla başlayan bu süreç; yapılaşma baskılarına karşı açılan davalar, fiilî nöbetler, imza kampanyaları, ekolojik tahribatlara yönelik sahada gözlem ve müdahaleler, anıt ağaç envanteri oluşturulması, su kaynaklarının korunması gibi çeşitli girişimlerle desteklenmiştir. Bununla birlikte, tahrip edilmiş doğal unsurların yeniden kazanımı, dere ekosisteminin iyileştirilmesi, kuruyan ağaçların yerine fidan dikilmesi ve kültürel peyzaj öğelerinin korunması gibi faaliyetler, rehabilitasyon sürecinin sivil inisiyatifle nasıl yönlendirilebildiğini göstermektedir. Gönüllüler, kamuoyunu harekete geçiren etkinliklerle yalnızca koruma refleksi sergilemekle kalmamış; aynı zamanda koruya yönelik alternatif, ekolojik ve katılımcı planlama yaklaşımlarının da geliştirilmesini sağlamıştır [50]. Bu kapsamda Validebağ Gönüllüleri'nin faaliyetleri, kentsel

doğal alanların restorasyon ve rehabilitasyon yoluyla sürdürülebilir biçimde korunmasına yönelik sivil toplum temelli etkili bir mekânsal uygulama örneği sunmaktadır.

ÇEKÜL Vakfı'nın 1998 yılında başlattığı "7 Bölge 7 Kent Projesi", "Kendini Koruyan Kentler" adı altında Türkiye'ye yayılmış, vakıf Gaziantep'te yürüttüğü bütüncül koruma çalışmalarıyla sivil toplum kuruluşlarının kentlerin mekânsal yeniden kazanımı sürecindeki stratejik rolünü ortaya koymuştur. Gaziantep'in tarihsel ve kültürel mirasını koruma amacı taşıyan bu girişim, "Kültür Yolu" projesiyle somutlaşmış; merkezde çarşı ve mahalle dokularını kapsayan bir koruma-rehabilitasyon hattı oluşturulmuştur. Proje, sadece fiziksel restorasyonla sınırlı kalmayıp, yerel yönetimler (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Valilik, İl Özel İdaresi), meslek odaları (Mimarlar Odası), üniversiteler ve kentlilerle birlikte çok paydaşlı bir yapıda yürütülmüş; böylece kentsel koruma anlayışının katılımcı planlama ilkeleriyle bütünleşmesi sağlanmıştır [51]. Eğitim projeleri, atölyeler ve kadınlara yönelik mesleki desteklerle kültürel süreklilik sağlanmış; böylece STK'nın restorasyonun ötesinde sosyal ve ekonomik rehabilitasyon süreçlerine de etki ettiği görülmüştür. Diğer yerel STK'larla yürütülen bu model, STK'ların sadece fiziksel mekânın değil, toplumsal belleğin ve kent kültürünün de sürdürülebilirliğine katkı sağlayan bir aktör olduğunu göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, Türkiye özelinde çevre odaklı sivil toplum kuruluşlarının sürdürülebilir peyzaj planlamasına nasıl katkı sunduklarını ve dolayısıyla peyzaj mimarlığı disipliniyle kesişiminde nasıl işlevsel roller üstlendiklerini ortaya koymaya çalışmıştır. STK'lar; halkla ilişkiler, bilimsel katkılar, yönetim süreçleri ve farkındalık yaratma gibi çok boyutlu alanlarda etkinlik göstererek, yalnızca savunucu bir konumda değil, aynı zamanda geliştirici ve uygulayıcı aktörler olarak da öne çıkmaktadır. Bu durum, kuramsal düzlemde tanımlanan çok aktörlü, katılımcı ve ekolojik temelli planlama yaklaşımlarının, Türkiye'de nasıl karşılık bulduğunu göstermektedir.

Peyzaj mimarlığı disiplini, doğa ve kültür temelli mekânların sürdürülebilirliğinde stratejik bir rol üstlenirken; STK'larla kurulacak disiplinlerarası iş birlikleri, özellikle doğa temelli çözümler, yeşil altyapı uygulamaları, kültürel miras alanlarında koruma çalışmaları ve kentsel ekolojik dönüşüm projelerinde önemli bir sinerji yaratma potansiyeli taşımaktadır. Ancak STK'lara üyelik oranlarının düşüklüğü, çevre hareketlerinin toplumsal yaygınlığı ve kalıcılığı açısından bir zayıflık alanı olarak varlığını sürdürmektedir.

Çevre odaklı STK'ların desteklenmesi, karar alma süreçlerine aktif katılımlarının sağlanması ve peyzaj mimarlığı disipliniyle kurumsal iş birliklerinin güçlendirilmesi sürdürülebilir peyzaj yönetiminin etkin şekilde hayata geçirilebilmesi için önem teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ünder, H., *Çevre Felsefesi-Etik ve Metafizik Görüşler*, Doruk Yayıncılık, Ankara, 1996.

- [2] Bozdoğan, R., “Sürdürülebilir gelişme düşüncesinin tarihsel arka planı,” *Journal of Social Policy Conferences*, 20 Nisan 2020. [Çevrimiçi]. Erişim tarihi: 28 Temmuz 2025, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/9155>.
- [3] United Nations Development Programme Türkiye- UNDP Türkiye, “Sürdürülebilir Kalkınma için Küresel Amaçlar,” 2015. [Çevrimiçi]. Erişim tarihi: 28 Temmuz 2025, <https://www.kureselamaclar.org/amaclar/surdurulebilir-sehirler-ve-topluluklar/>.
- [4] Brundtland, R., *Ortak Geleceğimiz*, Birleşmiş Milletler Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını, Ankara, 1991.
- [5] Ahern, J., “Green infrastructure for cities: The spatial dimension,” *Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management*, ss. 267–283, 2007.
- [6] Eggermont, H., Balian, E. V., Azevedo, J. M. N., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., ... ve Le Roux, X., “Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe,” *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 24(4), ss. 243–248, 2015.
- [7] Aslan, S., *Türkiye’de Sivil Toplum (Civil Society in Turkey)*, K15, 9(31), ss. 260-283, 2010.
- [8] Koyuncu, A. D., ve Çiftçi, S., “Türkiye’de çevre hareketlerinin tarihsel gelişimi,” *Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Teori ve Araştırmalar*, ss. 47–70, Serüven Yayınevi, 2022.
- [9] Özdemir, S., “Kar Gütmeyen Kuruluşlar ve Sosyal Refah'ın Sağlanmasında Artan Rolü,” *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, Sayı 48, ss. 129-161, 2004.
- [10] Touraine, A., *Birlikte yaşayabilecek miyiz*, (Çev. O. Kunal), YKY, İstanbul, 2000.
- [11] Keleş, R., *Çevre Politikası*, 5. baskı, İmge Kitabevi, Ankara, 1997.
- [12] New York Times, “Sierra Club grows amid political turmoil,” 15 Nisan 2023. [Çevrimiçi]. Erişim tarihi: 21 Temmuz 2025, <https://www.nytimes.com/2023/04/15/climate/sierra-club-membership.html>.
- [13] EEB – European Environmental Bureau, “Who we are,” 2025. [Çevrimiçi]. Erişim tarihi: 25 Temmuz 2025, <https://eeb.org/who-we-are/>.
- [14] Güler, E., *Türkiye’de Çevreci Sivil Toplum Örgütleri Üzerine Bir Değerlendirme*, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, Cilt 25, Sayı 45, ss. 1143-1159, 2023.
- [15] Paker, H., ve Baykan, B., “Türkiye’de Çevre ve Sivil Toplum: Örgütlenme ve Son Eğilimle” Bahçeşehir Üniversitesi Ekonomik ve Toplumsal Araştırma Merkezi Araştırma Notu 008, İstanbul, 2008.
- [16] Karataş, A., *Toplumda Çevre Bilincinin Yaygınlaştırılmasında Sivil Toplum Kuruluşlarının Rolü: Türkiye Örneği*, 855-867, *The Role of Non-Governmental Organizations In Increasing Environmental Awareness of Society: The Case of Turkey*, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.6257>
- [17] YADA Vakfı. (2023). *Türkiye Sivil Toplum Gelişim Endeksi 2023* https://www.yada.org.tr/s/2626/i/Turkiye_Sivil_Toplum_Gelisim_Endeksi_2023-.pdf (Erişim tarihi: 21 Temmuz 2025)
- [18] Birleşmiş Milletler Gönüllüleri (UNV) Programı Türkiye & GSM Gençlik Servisleri Merkezi, *Türkiye’de Gönüllük: Gönüllüğün Rolünün ve Katkılarının Keşfedilmesi*, 2013.
- [19] WWF-Türkiye, “Hakkımızda,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.wwf.org.tr> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [20] ÇEKÜL Vakfı, “Kurumsal Bilgi ve Faaliyet Alanları,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.cekulvakfi.org.tr> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [21] TEMA Vakfı, “Hakkımızda ve Projeler,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tema.org.tr> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)

- [22] Greenpeace Akdeniz, “Faaliyetlerimiz,” <https://www.greenpeace.org/turkey/> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [23] TURMEPA, “Kurumsal ve Projeler,” (Erişim tarihi: <https://www.turmepa.org.tr> , 19 Temmuz 2025)
- [24] Doğa Derneği, “Doğa Hakkında,” <https://www.dogadernegi.org> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [25] Buğday Ekolojik Yaşamı Destekleme Derneği, “Ekolojik Pazarlar ve Eğitim,” <https://www.bugday.org> (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2025)
- [26] SKD Türkiye, “SKD Türkiye Hakkında,” <https://www.skdturkiye.org> (Erişim tarihi: 20 Temmuz 2025)
- [27] ÇEDBİK, “Yeşil Binalar ve Sürdürülebilirlik,” <https://www.cedbik.org> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [28] 350 Türkiye, “Kampanyalar,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://350turkiye.org> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [29] Sürdürülebilirlik Adımları Derneği (SADE) <https://surdurulebilirlikadimlari.org/hakkimizda/> (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2025)
- [30] Sürdürülebilir Yaşam Derneği (SUYADER), “Projelerimiz,” <https://suyader.org> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2025)
- [31] Yeşil Artvin Derneği, “Hakkımızda,” <https://yesilartvindernegi.org/mucadele-tarihimizden/> (Erişim tarihi: 21 Temmuz 2025)
- [32] Munzur Koruma Kurulu, “Munzur için mücadele,” <https://www.munzurkoruma.org> (Erişim tarihi: 21 Temmuz 2025)
- [33] Validebağ Gönüllüleri, “Validebağ Direnişi,” <https://validebagdirenisi.org> (Erişim tarihi: 22 Temmuz 2025)
- [34] Kazdağı Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Derneği, “Kazdağları’nı Korum,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.kazdaglari.org> (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2025)
- [35] Bodrum Tohum Derneği, “Tohum Takas ve Etkinlikler,” <https://www.bodrumtohum.org> (Erişim tarihi: 21 Temmuz 2025)
- [36] Akdeniz Koruma Derneği, “Deniz ve Kıyı Koruma,” <https://akdenizkoruma.org.tr/tr/calismalarimiz/ekosistem-restorasyonu/b/sulak-alanlar> (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2025)
- [37] Mezopotamya Ekoloji Hareketi, “Ekoloji Mücadelesi,” <https://mezopotamyaekoloji.org> (Erişim tarihi: 19 Temmuz 2025)
- [38] MUÇEP, “Mücadele Alanlarımız,” [Çevrimiçi]. Erişim: <https://mucep.org> , 28 Temmuz 2025.
- [39] Atauz, A., *Çevreci Hareketlerin Türkiye’yi Sarsmayan On Yılı*, Birikim, Sayı 57-58, Ocak/Şubat, 1994.
- [40] Duru, B. (1995). Çevre bilincinin gelişim sürecinde Türkiye’de gönüllü çevre kuruluşları. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [41] Paker, H., “Çevre Rejimleri ve Türkiye’de Sivil Toplum Örgütlerinin Rolü: Akdeniz’de Sürdürülebilirlik,” *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), ss. 151–175, 2012.
- [42] Küçük, M., ve Güneş, G., *Sivil Toplum Kuruluşları ve Çevresel Sürdürülebilirlik*, Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 5(2), 2013, ISSN: 1309-8012
- [43] Kadirbeyoğlu, Z., Adaman, F., Ozkaynak, B. & Paker, H(2017). “*The Effectiveness of Environmental Civil Society Organizations: An Integrated Analysis of Organizational Characteristics and Contextual Factors*,” VOLUNTAS: International Journal of Voluntary and Nonprofit Organizations, 28, 1717-1741.
- [44] Gönenç, D. (2019). Türkiye’de sivil toplum ve çevre politikası. *Mimarlık*, 409, 33–36.

- [45] Can, Ö., & Gönenç, D. (2022). Ege Bölgesi'ndeki Çevreci Sivil Toplum Kuruluşları: Örgütsel Özellikler ve İlişkiler. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 20(44), 329-356. <https://doi.org/10.35408/comuybd.907175>
- [46] Doğa Derneği Gediz Deltası <https://dogadernegi.org/akdenizsulakalanlari/gedizdeltasi/>
(Erişim tarihi: 14.07.2025)
- [47] TEMA Kaz Dağı <http://kazdagi.org.tr/davalar.html> (Erişim tarihi: 14.07.2025)
- [48] Sabancı Vakfı <https://www.sabancivakfi.org/tr/sosyal-degisim/yeryuzu-dernegi>
(Erişim tarihi: 16.07.2025)
- [49] Kadıköy Bel <https://bostan.kadikoy.bel.tr/> (Erişim tarihi: 22.07.2025)
- [50] Validebağ Gönüllüleri <http://www.validebag.org/page/26/hakkimizda.html> (Erişim tarihi: 22.07.2025)
- [51] ÇEKÜL <https://www.cekulvakfi.org.tr/proje/kendini-koruyan-kentler> (Erişim tarihi: 22.07.2025)

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ VE ŞEHİR MERKEZİ ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ANALİZİ

Doçent Doktor, Musa ÇADIRCI

Düzce Üniversitesi, musacadirci@duzce.edu.tr

Öğrenci, Semiha KÖROĞLU

Düzce Üniversitesi, smhkoroglu54@gmail.com

Öğrenci, Mehmet Akif Baloğlu

Düzce Üniversitesi, baloglumehmetakif@gmail.com

ÖZET

Elektromanyetik alanlar, elektrik ve manyetik alan etkileşimi sonucu meydana gelen fiziksel alanlardır. Haberleşme sistemleri, elektronik cihazlar gibi insan yapımı unsurlar özellikle kentsel alanlarda yoğun elektrik alan maruziyetine sebep olmaktadır. Baz istasyonları, wifi erişim noktaları ve elektrikli araçlar gibi kaynaklar bunlardan başlıcalarıdır. Kablosuz iletişim teknolojilerinin son yıllarda yaygınlaşmasıyla elektromanyetik radyasyon seviyelerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Wifi sistemleri ve Bluetooth cihazları kısa mesafeli iletişimde düşük güçlüdür fakat sürekli olarak aktif sinyaller üretir. Bunun yanı sıra Cep telefonları ise baz istasyonları ile olan etkileşiminden yüksek frekanslı radyo dalgaları yaymaktadır. İletişimdeki bu kolaylık kesintisiz bir bağlantı ortamdaki elektromanyetik yük kapasitesini de artırmaktadır. Şehir merkezleri ya da Üniversite çevresi gibi nüfusun yoğun olduğu alanlarda elektromanyetik kirliliğin analiz edilmesi, halk sağlığı açısından kritik bir öneme sahiptir. Elektromanyetik alan hakkında elde edilen sonuçların uluslararası sağlık ve güvenlik standartları çerçevesinde değerlendirilmesi ortaya çıkan etkilerin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu kapsamda, sistematik olarak gerçekleştirilen ölçümler ve bilimsel analizler sayesinde sağlıklı çevre ortamı oluşturmaya katkı sağlanabilecektir. Bu doğrultuda, elektromanyetik alan ölçümleri ve analizleri bu çalışmada Düzce ilinin belirli lokasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Özellikle şehir merkezi, üniversite çevresi, konut alanları ve yoğun yaya trafiğine sahip bölgeler seçilerek sistematik ölçümler yapılmıştır. Elde edilen veriler, elektromanyetik alan maruziyetinin mekânsal dağılımını ortaya koymak ve potansiyel sağlık risklerini değerlendirmek amacıyla uluslararası standartlarla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu çalışma, Düzce ili için elektromanyetik kirliliğin mevcut durumunu saptamaya ve gelecekte alınabilecek önlemlere bilimsel zemin oluşturmaya katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kirlilik, Maruziyet, Radyasyon

ABSTRACT

Electromagnetic fields are physical fields resulting from the interaction of electric and magnetic fields. Human-made elements such as communication systems and electronic devices, particularly in urban areas, cause intense exposure to electric fields, with base stations, Wi-Fi access points, and electric vehicles being among the primary sources. The widespread adoption of wireless communication technologies in recent years has led to significant increases in electromagnetic radiation levels. While Wi-Fi systems and Bluetooth devices are low-power for short-range communication, they continuously produce active signals. Additionally, mobile phones emit high-frequency radio waves through their interaction with base stations. This convenience in communication increases the electromagnetic load capacity in the environment, making the analysis of electromagnetic pollution in densely populated areas such as city centers or university surroundings critically important for public health. Evaluating the obtained results on electromagnetic fields within the framework of international health and safety standards is essential for determining emerging effects. In this context, systematic measurements and scientific analyses can contribute to creating a healthier environmental setting. Accordingly, electromagnetic field measurements and analyses were conducted in this study at specific locations in Düzce province. Systematic measurements were carried out, particularly in selected areas including the city center, university surroundings, residential zones, and regions with heavy pedestrian traffic. The collected data were analyzed by comparing them with international standards to reveal the spatial distribution of electromagnetic field exposure and assess potential health risks. This study will contribute to determining the current state of electromagnetic pollution in Düzce province and provide a scientific basis for future preventive measures.

Keywords: Pollution, Exposure, Radiation

1. GİRİŞ

Elektromanyetik alan, yayılan frekansa bağlı olarak bazı olumsuz biyolojik etkilere neden olabilmektedir. Yüksek frekanslı radyasyon (RF dalgaları), Wİ-Fİ ve baz istasyonları gibi kaynaklardan yayılan elektromanyetik dalgalarının insan sinir sistemi üzerinde etkili olabileceği bilinmektedir. Literatürde, elektromanyetik alan maruziyetinin baş ağrısı, uyku bozuklukları, kognitif fonksiyonlarda azalma gibi kısa vadeli etkileriyle ilişkilendirildiği belirtilmiştir. Uzun vadeli maruziyet kanser, üreme sağlığı ve sinir sistemi hastalıkları üzerindeki olası etkileri ise hala bilimsel araştırmaların konusu olup, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından düşük seviyeli elektromanyetik alanın "olası kanserojen" olarak sınıflandırılması dikkat çekicidir [1]. Elektromanyetik alan kirliliğini düzenleyen başlıca uluslararası kuruluşlar arasında Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Çevre Ajansı (EEA) bulunmaktadır. Bu kuruluşlar, halk sağlığını korumak amacıyla EMA maruziyetine yönelik sınır değerler belirlemekte ve düzenlemeler geliştirmektedir. ICNIRP, belirlediği sınır değerleri Avrupa Birliği ülkeleri başta olmak üzere birçok ülkede referans olarak kabul edilen bir düzenleyici kuruluş niteliğindedir. Türkiye’de ise elektromanyetik alan düzenlemeleri Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu (BTK) tarafından yürütülmekte olup, ICNIRP’in belirlediği sınır değerlerin dörtte biri seviyesinde tutulmaktadır. Uluslararası alanda belirlenen sınır değerleri bazı ülkelerde mevcut düzenlemelerin daha sıkı olması nedeniyle farklılık gösterebilmektedir.

Son yıllarda teknolojinin insan yaşamına daha çok entegre edilmesi ile ortamlardaki elektromanyetik alan seviyelerini ölçen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde elektromanyetik kirliliğin nedenlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Yaygın kaynaklar arasında baz istasyonları, WiFi noktaları, elektrikli araçlar ve endüstriyel cihazlar öne çıkmaktadır. Yapılan ölçümlerde, elektromanyetik alan maruziyet seviyelerinin çevresel faktörler ve zaman dilimlerine göre değişkenlik gösterdiği, özellikle günün farklı saatlerinde gündüz ve akşam saatleri baz alındığında farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu durum elektromanyetik kirliliğin zaman içinde nasıl değiştiği hakkında önemli bir gözlem ortaya koymaktadır. Literatürdeki boşluklar özellikle yerel düzeyde yapılan ölçümlerin sınırlı kalması ve bu tür ölçümlerin kısıtlı bölgelerde gerçekleştirilmesidir. Bu nedenle farklı coğrafi bölgelerde daha fazla ölçüm yapılmalıdır. Bu doğrultuda, yaptığımız çalışma Düzce ilinde belirlenen 5 farklı pilot bölgeyi kapsamaktadır. Bunun yanısıra ölçüm aşamaları yaklaşık bir saat sürecek şekilde günün öğle ve akşam olmak üzere iki farklı zaman dilimine ayrılmıştır. Test aşamasında GQ EMF-390 cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları MATLAB programında karşılaştırmalı grafiklere dönüştürülerek yerel elektromanyetik alan seviyeleri analiz edilmiştir. Bu tür çalışmalar, halk sağlığını koruma ve ulusal düzenlemeleri iyileştirme açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Düzce ili için şehir merkezi ve kampüs çevresini kapsayan 5 farklı bölgede elektromanyetik alan seviyelerinin analiz edilerek elektromanyetik alan maruziyetinin incelenmesine ve bunun halk sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin göz önünde bulundurulmasına katkı sağlamaktır. Analiz edilen parametreler arasında elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğu yer almaktadır. Bu parametreler elektromanyetik alan maruziyeti hakkındaki potansiyel etkileri belirleyebilmek açısından önem taşımaktadır. Çalışmanın bulguları, özellikle elektromanyetik alan maruziyetinin zaman dilimlerine göre değişiklik gösterdiğini ve farklı alanlarda farklı seviyelerde olduğunu ortaya koymuştur. Ortaya koyulan bu bulgular halkın bilinçlendirilmesi çalışmalarına katkı sağlayacak ve şehir planlaması, altyapı geliştirme, sağlık politikaları gibi çalışmalar için değerli veriler sunacaktır.

2. METODOLOJİ

Düzce ili için şehir merkezi ve kampüs çevresini kapsayan 5 pilot bölge belirlenmiştir. İlk olarak, Düzce Üniversitesi Kütüphanesi, yoğun öğrenci ve çalışan trafiğiyle elektromanyetik alan maruziyetinin önemli olduğu bir bölge olarak belirlenmiştir. İkinci olarak, 23 Nisan Parkı, açık alanlarda halkın zaman geçirdiği bir nokta olarak seçilmiştir. Üçüncü olarak, Düzce Üniversitesi Hastanesi, tıbbi cihazların yoğun kullanıldığı ve elektromanyetik kirliliğin potansiyel etkilerinin gözlemlenebileceği bir sağlık kurumu olarak belirlenmiştir. Dördüncü olarak, Merkez Cami Önü, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip merkezi yer olarak seçilmiş olup, çevresindeki elektromanyetik alan seviyeleri incelenmiştir. Son olarak, Krempark AVM, alışveriş faaliyetlerinin yoğun olduğu bir bölge olarak, ticari ve endüstriyel cihazların yaydığı elektromanyetik alanların etkisi değerlendirilmiştir. Bu bölgeler, Düzce ilinin çeşitli açılardan temsil ederek, elektromanyetik alan kirliliğinin farklı çevresel ve toplumsal faktörlerden nasıl etkilendiğini analiz etmek için ideal lokasyonlar olarak ortaya koyulmuştur.

Şehir merkezi ve kampüs çevresini kapsayan 5 pilot bölge, elektromanyetik alan (EMF) kaynaklarının en yaygın olduğu ve bu kaynakların etkilerinin incelenebileceği alanlar olarak belirlenmiştir. Kütüphane, yoğun Wi-Fi trafiği ve mobil cihaz kullanımının yaygın olduğu bir bölge olarak, elektromanyetik alan yayılımı açısından dikkat çekicidir. 23 Nisan Parkı, açık alanlarda bulunan baz istasyonları ve mobil cihazlar nedeniyle elektromanyetik alan seviyelerinin farklılık gösterebileceği bir noktadır. Düzce Üniversite Hastanesi, tıbbi cihazlar ve iletişim altyapılarının yoğun kullanımı nedeniyle EMF kaynaklarının yüksek olduğu bir alandır. Merkez Cami Önü, yoğun insan trafiği sonucu artan teknolojik cihaz kullanımını gözlemlemek için uygun bir alandır. Son olarak, Krempark AVM, ticari cihazlar ve Wi-Fi yönlendiricileri gibi EMF kaynaklarının bulunduğu, ticaretin yoğun olduğu bir bölge olarak seçilmiştir. Bu bölgeler, farklı EMF kaynaklarının etkilerini değerlendirmek amacıyla stratejik olarak seçilmiş lokasyonlardır.

Veri toplama için kullanılan cihaz, GQ Electronics tarafından üretilen GQ EMF-390 modelidir. Cihaz, geniş bir frekans bandında elektromanyetik alan ölçümü yapabilme kapasitesine sahiptir. EMF-390, özellikle 50 MHz ile 2.5 GHz arasındaki frekans aralıklarını kapsayan çeşitli bantlarda ölçüm yapabilmektedir. Bu frekans bantları, FM radyo (50 MHz-108 MHz), cep telefonu, kablosuz telefonlar, akıllı sayaçlar (240 MHz- 1040 MHz) ve Wi-Fi, Bluetooth, mikrodalga fırınlar gibi cihazların yaydığı elektromanyetik dalgalar (2.4 GHz- 2.5 GHz) gibi kaynakları içermektedir [2]. Cihaz, her frekans bandı için farklı adım boyutları ve frekans genişlikleri sunar. Bu ölçüm aralığı ve hassasiyet, elektromanyetik alanın farklı kaynaklardan meydana gelen etkilerini detaylı bir şekilde incelemeye olanak tanır.

GQ EMF-390 cihazı, fabrika çıkışı kalibrasyonu gerçekleştirilmiş olup, cihazın ölçüm doğruluğunu garanti altına almak ve olası sistematik hata kaynaklarını en aza indirmek için önemli bir aşamadır. Bu süreç, cihazın güvenilirliğini sağlamak ve elde edilen verilerin geçerliliğini korumak açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Ölçümler, çevresel koşulların etkisini göz önünde bulundurarak, gökyüzünün açık olduğu standart hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. İlk ölçüm, öğle saat 14.00'te alınmış olup, bu saat diliminde güneş ışığının yoğunluğu yüksektir ve hava koşulları sakın, rüzgarsızdır. İkinci ölçüm ise akşam saat 20.00'de yapılmıştır; bu saatte hava sıcaklıkları düşerken, ışık seviyeleri azalmış ve çevresel parazitlerin etkisi daha belirgin hale gelmiştir. Ölçümler sırasında, çevresel faktörlerin yanı sıra, olası elektromanyetik parazitlerin de gözlemlenmesi dikkat edilmesi gereken başka bir husustur. Özellikle yerleşim alanlarının yoğun olduğu bölgelerde, baz istasyonları ve Wi-Fi yönlendiricilerinin aktif olması bu tür parazitlerin artmasına neden olabilir. Bu koşullar, elde edilen verilerin doğruluğunu etkileyebileceği için, her iki zaman dilimindeki ölçümler karşılaştırılarak çevresel değişkenlerin etkisi analiz edilmiştir.

Dış etmenleri en aza indirmek amacıyla çeşitli güvenlik önlemleri alınmıştır. İlk olarak, cihazı test için aktifleştirdiğimiz sırada, ölçüm cihazının çevresinde veri karışmasını önlemek adına en az bir metre yakınına kadar aktif bir cihaz konumlandırılmamıştır. Bu sayede, cihazın doğru ölçüm yapabilmesi için elektromanyetik parazitlerden etkilenmemesini sağlanmıştır. Ayrıca, ölçüm süresi boyunca cihazın sabit bir noktada tutulmuş ve hareket ettirilmemiştir. Ölçümler bir saatlik bir süre zarfında gerçekleştirilmiş olup, bu sürenin sonunda elde edilen veriler ortalaması alınarak analiz edilmiştir. Bu metodoloji, dış etkenlerin ve çevresel parazitlerin ölçümler üzerindeki olası etkilerini en aza indirmek ve daha güvenilir, tutarlı sonuçlar elde etmek amacıyla uygulanmıştır.

Ölçümler, sürekli örnekleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir konumda, cihaz yaklaşık bir saat veri toplamıştır. Bu süre zarfında, cihaz yaklaşık 4000 satır veri kaydetmiş ve bu verilerin her biri, elektromanyetik alan seviyelerinin farklı anlık ölçümlerini yansıtmaktadır. Ölçüm süresi boyunca toplanan veriler, daha sonra her bir pilot bölge için ortalama alınarak analiz edilmiştir. Ölçüm, günün farklı saatlerinde gerçekleştirildiğinden (öğlen saat 14:00 ve akşam 20:00'de) zaman dilimlerinin elektromanyetik alan seviyeleri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Bu metodoloji, her konumda elektromanyetik alan yoğunluğunun detaylı bir şekilde değerlendirilmesini amaçlamaktadır.

Elektromanyetik alan (EMF) ölçümleri sırasında kaydedilen temel parametreler, elektrik alan şiddeti, manyetik alan şiddeti ve güç yoğunluğudur. Elektrik alan şiddeti (V/m), elektromanyetik dalganın elektrik bileşeninin gücünü temsil eder ve bu alanın çevresindeki yüklerin etkileşimini inceler. Elektrik alan şiddeti, genellikle volt/metre (V/m) birimiyle ifade edilir ve dalga boyuna göre değişen yoğunluklarıyla, elektromanyetik alanın potansiyel etkilerini gösterir. Manyetik alan şiddeti (μT veya mG) ise elektromanyetik dalganın manyetik bileşeninin yoğunluğunu ölçer ve bu değer, alanın manyetik özelliğini belirler. Manyetik alan şiddeti, mikrottesla (μT) veya miligauss (mG) birimleriyle ifade edilir. Güç yoğunluğu (W/m^2 veya $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), elektromanyetik dalgaların birim alanda taşıdığı enerji miktarını ölçen bir parametredir [3].

Veri işleme süreci, elde edilen ölçümlerin doğru bir şekilde analiz edilmesi için yol göstericidir. Ölçümler sırasında kaydedilen EMF parametrelerinin işlenmesinde, ortalama alma yöntemi olarak aritmetik ortalama kullanılmıştır. Her bir konumda yapılan ölçümlerden elde edilen yaklaşık 4000 satır veri, 1 saatlik bir süre zarfında toplanarak, genel bir ortalama hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, ölçüm sonuçlarını küçük dalgalanmalardan arındırarak, verilerin genel eğilimlerini ve ortalama seviyelerini en az hata payı üzerinden temsil etmektedir. Aykırı değerlerin tespiti ve ele alınması süreci, verilerin güvenilirliğini artırmak için önemli bir aşamadır. Ölçüm verileri üzerinde yapılan ön analizlerde, özellikle çevresel faktörlerden kaynaklanabilecek geçici dalgalanmalar ve anormallikler gözlemlenmiştir. Bu tür aykırı değerler, örneğin ani bir ağ aktivitesi değişikliği veya çevredeki hareketli cihazlardan kaynaklanan geçici sinyal dalgalanmaları gibi dış etkiler nedeniyle meydana gelebilmektedir. Bu tür anormal veriler, sistematik bir şekilde tespit edilip, analiz sürecine dahil edilmeden önce gerekli işleminden geçirilmiştir. Böylece, çevresel etkileşimlerin etkisi en aza indirgenerek, elde edilen değerler daha stabil ve güvenilir hale getirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

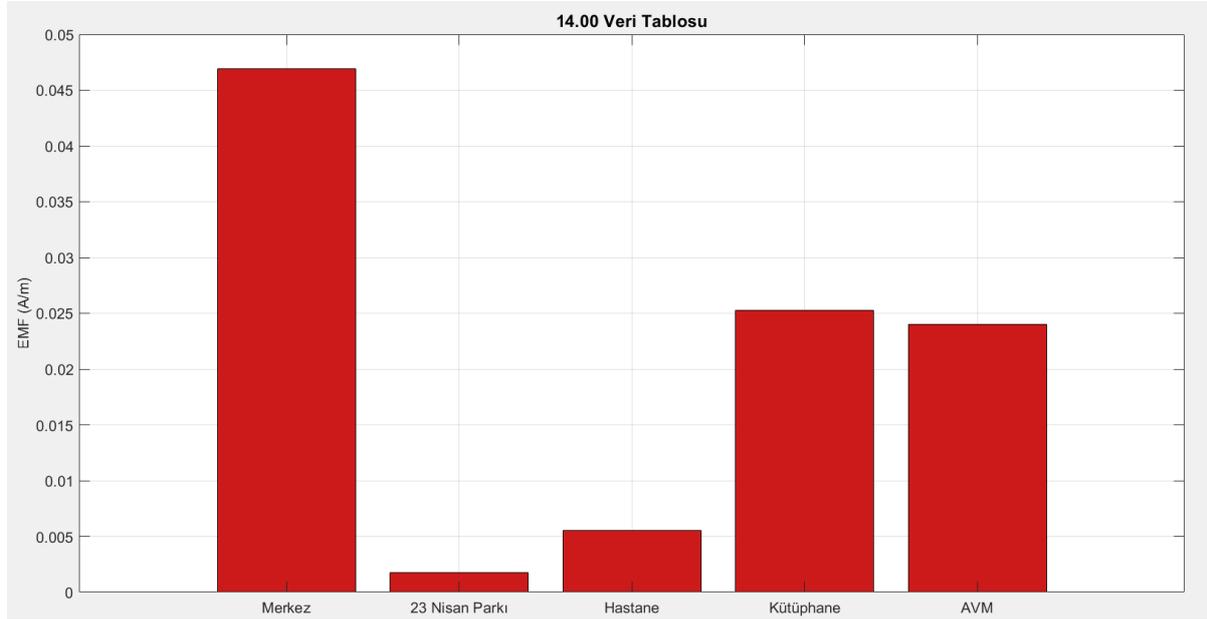
Ölçüm sonuçları, Düzce ili belirlenen 5 lokasyondan her biri için elektrik alan şiddeti (V/m), manyetik alan şiddeti (μT) ve güç yoğunluğunun (W/m^2) detaylı bir şekilde analizi gerçekleştirilmiştir.

1.EMF:

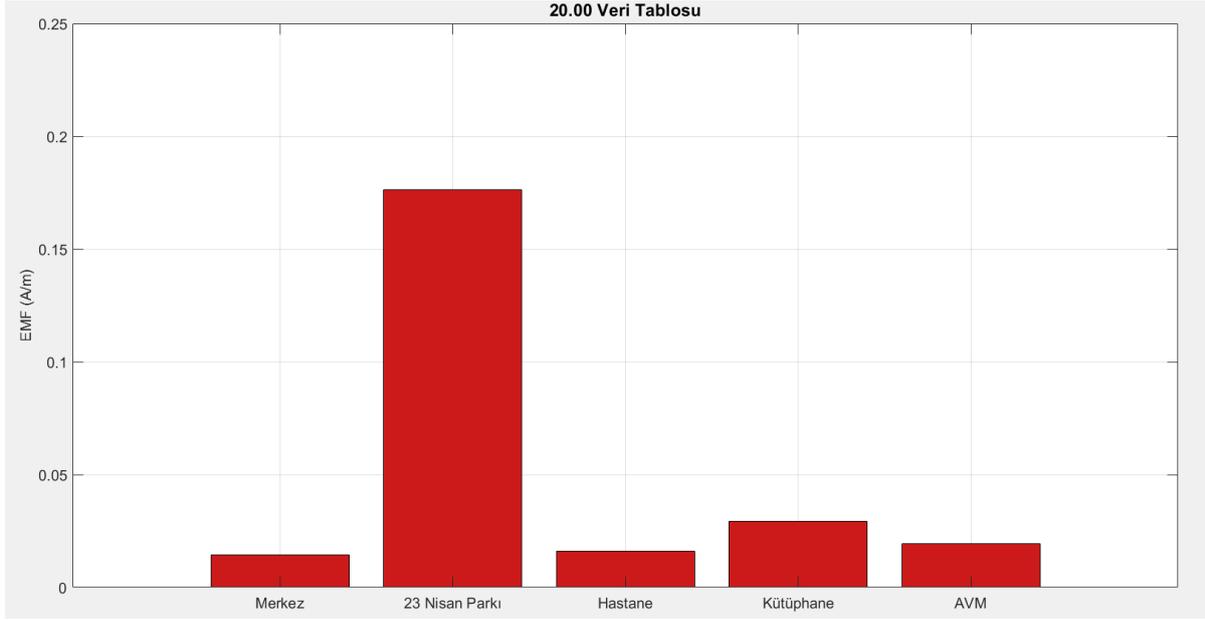
Öğle saatlerinde Merkez bölgesindeki EMF değerleri belirgin şekilde yükseldiği gözlemlenirken, akşam saatlerinde 23 Nisan Parkı'ndaki EMF seviyeleri en yüksek değere ulaştığı gözlemlenmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında akşam saatlerinde 23 Nisan Parkı hariç EMF değerleri daha homojen dağıldığı fakat öğle saatlerinde ise Merkez noktasının öne çıktığı gözlemlenmektedir. Bu farklar, güvenlik sistemleri, yoğun telefon kullanımı, Wi-Fi portları ve baz istasyonlarının etkisiyle açıklanabilir. Ayrıca, baz istasyonlarının sinyal gücünü dinamik olması, kullanıcı yoğunluğunun arttığı akşam saatlerinde daha yüksek EMF yayılımına yol açabileceği şeklinde yorumlanabilmektedir.

Kentsel ve kurumsal alanlar arasındaki EMF seviyesi farklılıkları, bu ortamlarda kullanılan cihazların yoğunluğu ve çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır; örneğin, Merkez bölgesindeki yüksek EMF seviyeleri, güvenlik ve iletişim altyapısının yoğunluğundan kaynaklanırken, 23 Nisan Parkı'ndaki akşam saatlerinde artan telefon ve internet kullanımı bu seviyeleri artırmaktadır. Çevresel faktörler, binaların elektromanyetik alan dalgalarını yansıtmaları ya da emmesi gibi etkenler de güç yoğunluğu ölçümlerini etkileyebilme potansiyeline sahiptir. Ölçümlerin farklı zaman dilimlerinde alınması, özellikle yoğun kullanım saatlerinde (örneğin iş çıkışı) EMF değerlerinde artışa neden olabilmektedir. Ölçülen değerler, uluslararası standartlarla (ICNIRP, WHO, FCC) karşılaştırıldığında, EMF seviyelerinin genellikle kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu görülmüş, ancak yerel düzenlemelerle daha sıkı denetimler gerektirebilir.

Önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar, benzer EMF seviyelerinin gözlemlendiğini, ancak çevresel farklılıklar ve kullanılan ölçüm tekniklerinin tutarsızlıklara yol açabileceğini göstermektedir. Son olarak, yüksek EMF maruziyetinin sağlık üzerindeki potansiyel etkilerine dair daha fazla araştırma yapılması gerekliliği ortaya koyulmuştur. Uzun süreli yapılacak olan çalışmalar, öncelikle insan sinir sistemi olmak üzere biyolojik sistemler üzerindeki etkilerin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.



Görsel 1: 14.00 EMF sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması

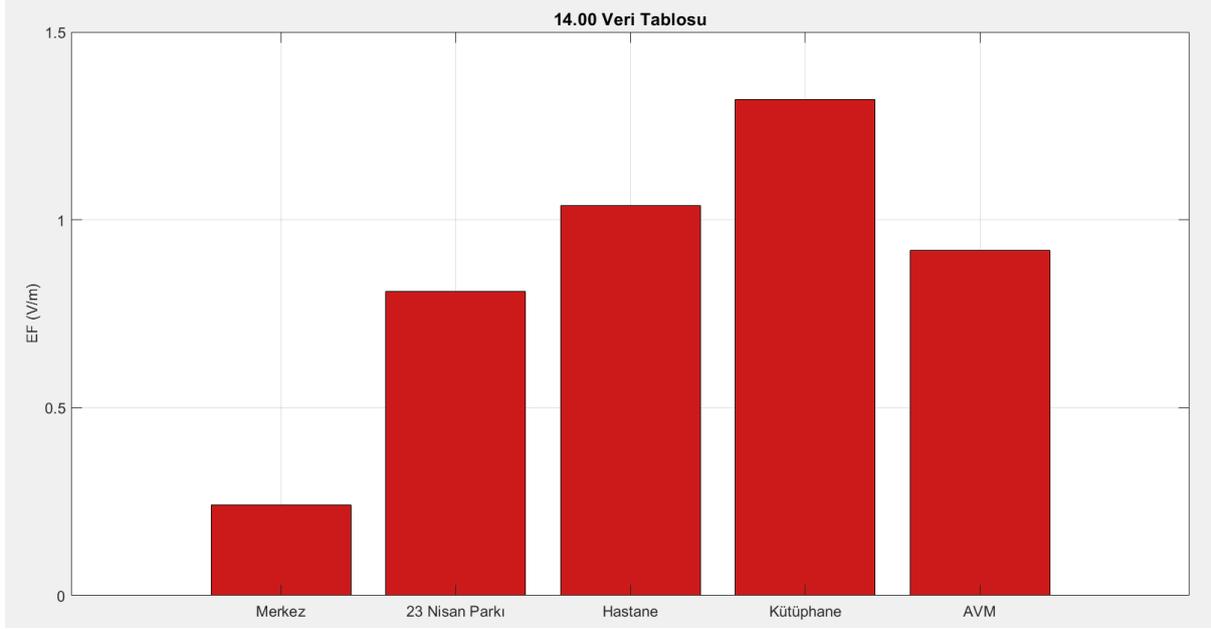


Görsel 2: 20.00 EMF sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması

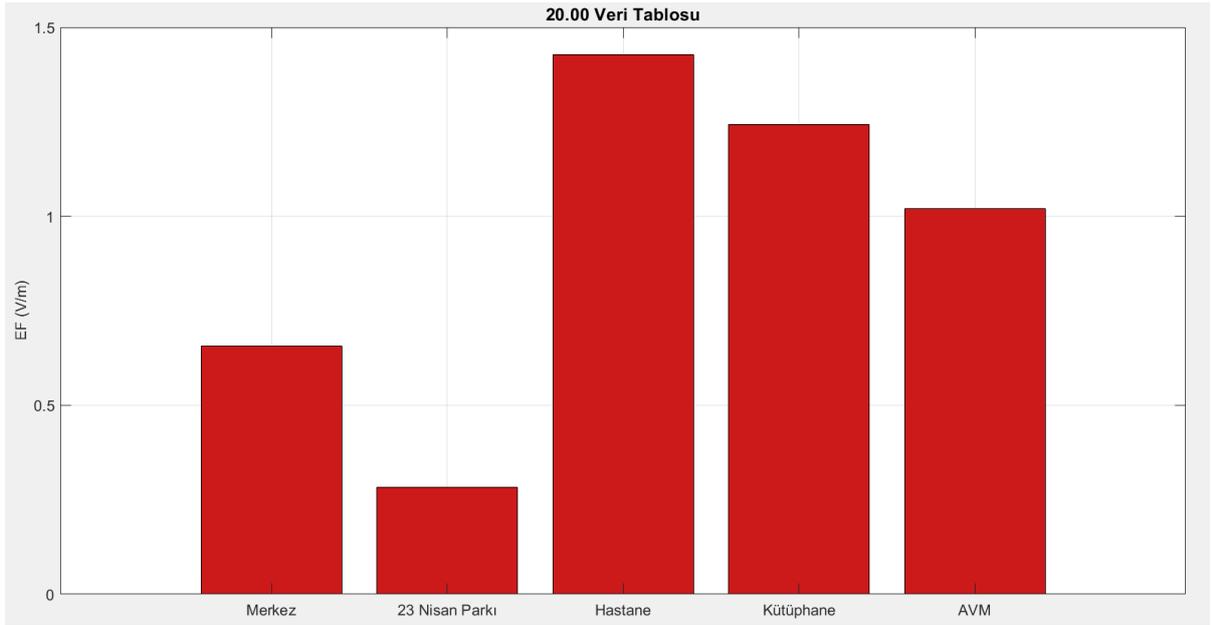
2.EF:

Öğle saatlerinde Kütüphane ve Hastane lokasyonları için gözlemlenen yüksek elektromanyetik alan değerleri, bu bölgelerdeki kaynakların yoğunluğunu anlatmaktadır. Kütüphane bölgesindeki yüksek değerlerin, özellikle sınav haftası gibi dönemlerde artan cihaz kullanımından kaynaklandığı düşünülebilir. Öğrencilerin yoğun cihaz kullanımı, elektromanyetik alan seviyelerinin yükselmesinin nedenlerinden biri sayılabilir. Aynı zamanda, hastane bölgesinde de öğle saatlerinde yüksek değerler gözlemlenmekle birlikte, akşam saatlerinde bu değerlerin daha da arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, akşam saatlerinde hastanede devreye giren yoğun enerji tüketen cihazların olabileceği göz önünde bulundurularak açıklanabilir. Merkez bölgesinde öğle saatlerinde gözlemlenen düşük elektromanyetik alan değerlerinin ardından akşam saatlerinde bir artış meydana gelmesi, çevresel faktörlerdeki değişimlerin yanı sıra, bu bölgedeki elektronik cihaz kullanımının artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Bu bulgular, öğle ve akşam saatlerinde ölçülen değerler arasındaki değişikliklerin, belirli bölgelerdeki cihaz kullanım yoğunluğu, çevresel koşullar ve zaman dilimindeki değişikliklerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle, cihazların kullanım yoğunluğu ve çevresel faktörlerin elektromanyetik alan üzerindeki etkileri, öğle ve akşam saatlerindeki farklılıkları net biçimde ortaya koymaktadır.



Görsel 3: 14.00 EF sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması



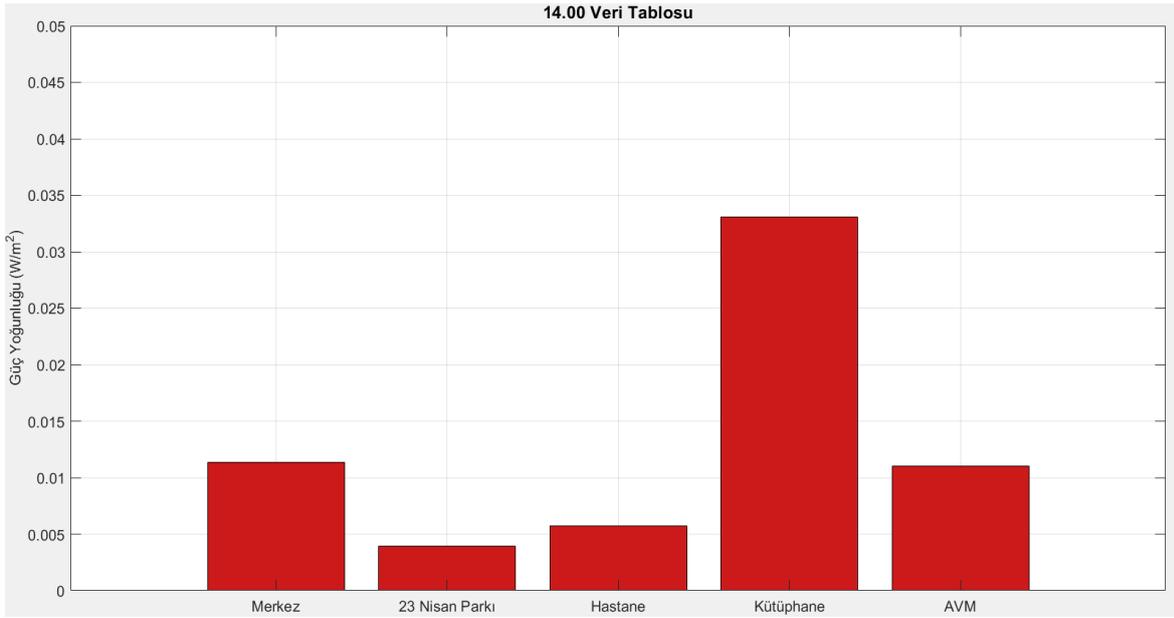
Görsel 4: 20.00 EF sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması

3.GÜÇ YOĞUNLUĞU(PD):

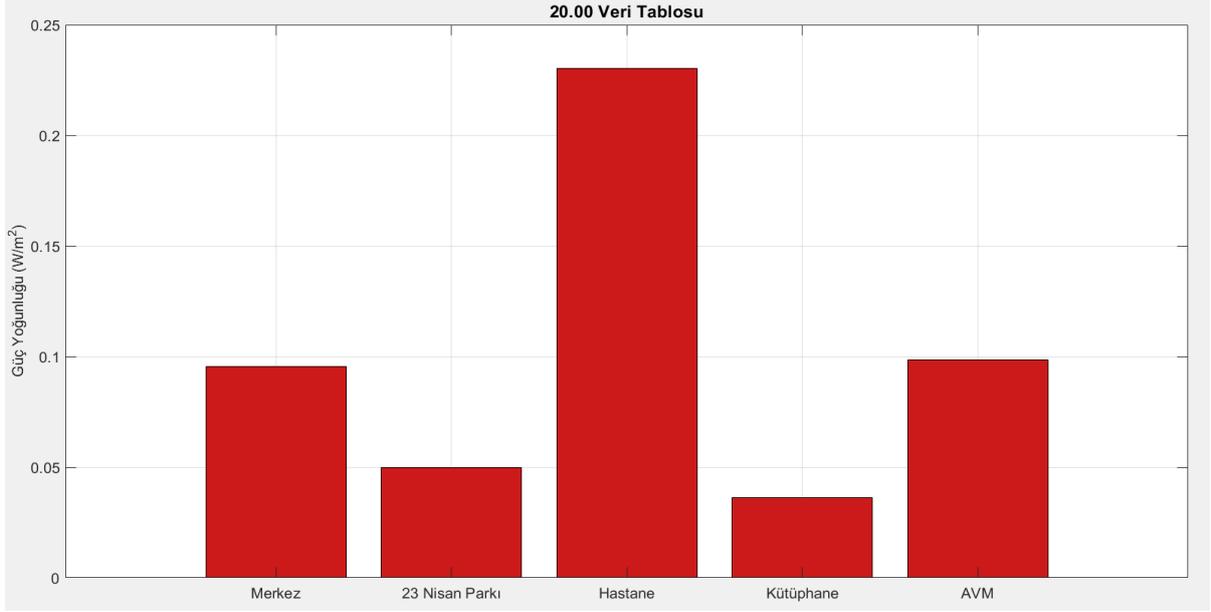
Kütüphane ve hastane bölgelerinde gözlemlenen yüksek güç yoğunluğu değerleri, bu alanlarda yoğun elektromanyetik alan kaynaklarının bulunduğuna işaretir. Bu kaynaklar, enerji iletim hatları ve güçlü endüstriyel cihazlar gibi unsurlardan meydana gelebilir.

Kütüphane bölgesindeki yüksek elektromanyetik alan değerlerinin belirgin olmasının öncelikli nedeni, burada bulunan öğrenci yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Özellikle sınav haftalarında, öğrencilerin cihaz kullanımındaki artış, elektromanyetik alan seviyelerinin yükselmesine yol açmaktadır. Bu durum, bireysel cihazların artan kullanımıyla birlikte, elektromanyetik alanın yoğunluğunu artırarak ölçülen değerlerin artmasını tetiklemektedir. Diğer yandan, hastane ve alışveriş merkezi (AVM) bölgeleri, gün boyunca elektromanyetik alan seviyelerinde artışlar gözlemlense de genel olarak daha stabil bir elektromanyetik çevreye sahip olmaktadır.

Bu bölgelerdeki elektromanyetik alan seviyelerindeki bu kararlılık, alanlardaki elektromanyetik kaynakların daha kontrollü bir şekilde kullanıldığını veya kaynak çeşitliliğinin sınırlı olabileceğine işaret eder. Merkez bölgesindeki düşük güç yoğunluğu değerleri ise, bu bölgedeki elektromanyetik aktivitenin düşük olduğuna ve dolayısıyla bu alandaki elektromanyetik alanın daha az etkiye sahip olduğuna işaret etmektedir. Bu bulgular, farklı lokasyonlardaki elektromanyetik alan yoğunluğunun çevresel faktörler ve insan faaliyetleriyle nasıl şekillendiğini anlamamıza referans olmaktadır.



Görsel 5: 14.00 Power Density sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması



Görsel 6: 20.00 EMF sonuçlarının belirtilen lokasyonlar için Matlab ortamında bar grafiği ile karşılaştırılması

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

| | Column3 | Column4 | Column5 | Column6 | Column7 | Column8 | |
|--|----------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-------------|
| | Radiofrequency | Radiofrequency | Radiofrequency | Radiofrequency | Radiofrequency | Radiofrequency | |
| | Electric field (V/m) | Electric field (V/m) | Power density (W/m ²) | Power density (W/m ²) | Specific absorption rate (SAR) (W/kg) | Specific absorption rate (SAR) | |
| Germany | 2017 | 41.25 | 58 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| Greece | 2017 | 31.9/34.5 | 45.1/48.8 | 2.7/3.15 | 5.4/6.3 | 0.048/0.056/0.08 | 1.2/1.4/2.0 |
| Iran (Islamic Republic of) | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | | |
| Israel | 2017 | [13.0] | [18.0] | [0.45] | [0.9] | [0.08] | [2] |
| Italy | 2017 | 6/20 | 6/20 | 0.1/1.0 | 0.1/1.0 | 0.08 | 2 |
| Japan | 2017 | 47.55 | 61.4 | 6 | 10 | 0.08 | 2 |
| Malaysia | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | | 2 |
| New Zealand | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| Norway | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| Republic of Korea | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| Russian Federation | 2017 | | | 1 | 1 | | |
| Saudi Arabia | 2017 | 41.25 | 58.34 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| South Africa | 2017 | [41.0] | [58.0] | [4.5] | [9.0] | [0.08] | [2] |
| Türkiye | 2017 | 3/10.23/41.0 | 3/14.5/58 | 0.27 | 0.55 | | 2 |
| Tunisia | 2017 | 41 | 58 | 4.5 | 9 | 0.08 | 2 |
| United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland | 2017 | [41.25] | [58.34] | [4.5] | [9.0] | [0.08] | [2] |
| United States of America | 2017 | 47.6 | 61.4 | 6 | 10 | 0.08 | 1.6 |

Görsel 7. WHO Exposure limits for radio-frequency fields (public)

Çizelge 1. 14.00 için birim dönüşümü gerçekleştirilmiş veriler

| 14.00 | EMF (A/m) | EF (V/m) | Power Density (W/m ²) |
|----------------|-----------|----------|-----------------------------------|
| Merkez | 0.04692 | 0.24156 | 0.01134 |
| 23 Nisan Parkı | 0.00172 | 0.80943 | 0.00394 |
| Hastane | 0.00555 | 1.03734 | 0.00575 |
| Kütüphane | 0.02527 | 1.31936 | 0.03307 |
| Krempark AVM | 0.02403 | 0.91801 | 0.01102 |

Çizelge 2. 20.00 için birim dönüşümü gerçekleştirilmiş veriler

| 20.00 | EMF (A/m) | EF (V/m) | Power Density (W/m ²) |
|----------------|-----------|----------|-----------------------------------|
| Merkez | 0.01453 | 0.65696 | 0.09541 |
| 23 Nisan Parkı | 0.17631 | 0.28333 | 0.04995 |
| Hastane | 0.01622 | 1.42725 | 0.23045 |
| Kütüphane | 0.02916 | 1.24337 | 0.03626 |
| Krempark AVM | 0.01932 | 1.01930 | 0.09846 |

EMF, elektriksel alan (EF) ve güç yoğunluğu (Power Density) verileri incelendiğinde, elde edilen değerlerin, ICNIRP (Uluslararası Elektromanyetik Alanları Koruma Komitesinin) ve BTK'nın (Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu) belirlediği sınır değerlerin altında olduğu ve bu durumun, insan sağlığı açısından herhangi bir risk oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Barilaro, D., Barone, G., Crupi, V., Majolino, D. "Characterization of Archeological Findings by FT-IR Spectroscopy." *Spectroscopy*, vol. 20, no. 4, pp. [page range], April 2005.
- [2] GQ Electronics LLC, "GQ EMF-390 Multi-Field EMF Meter." [Çevrimiçi]. Erişim adresi:
https://www.gqelectronicsllc.com/comersus/store/comersus_viewItem.asp?idProduct=5678.
- [3] MIT OpenCourseWare. (2009). "*Electromagnetic Fields and Energy*" [Lecture notes]. *Massachusetts Institute of Technology*. <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-641-electromagnetic-fields-forces-and-motion-spring-2009/> (Accessed: 15.07.2024).
- [4] T. Alankaya ve O. Gündüz, "Üniversite kampüslerinde RF radyasyon seviyelerinin değerlendirilmesi," *5. Ulusal Antenler ve Propagasyon Konferansı (AP 2021)*, Ankara, Türkiye, ss. 78-83, Kasım 2021.
- [5] G. Baldacci, L. Lucci, ve S. Pizzimenti, "Measurement of Electromagnetic Fields in Urban Areas: A Case Study of Florence," *2022 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, Sidney, Avustralya, ss. 1-4, Eylül 2022.
- [6] Demir, A. (2015). *Elektromanyetik alan ölçümleri ve insan sağlığı üzerine etkilerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015
- [7] Yılmaz, B. (2018). *Kentsel alanlarda baz istasyonlarından kaynaklanan elektromanyetik kirliliğin ölçümü ve değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [8] Kaya, E. (2020). *Hastane ortamlarında elektromanyetik alan seviyelerinin ölçümü ve uluslararası standartlarla karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2020.
- [9] Akar, M. (2019). *Endüstriyel tesislerde elektromanyetik alan maruziyetinin ölçümü ve risk değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ankara, 2019.

- [10] Çerezci, F. (2015). *K-means algoritması ile elektromanyetik kirlilik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2015.
- [11] Smith, J. (2018). *Measurement and analysis of electromagnetic fields in urban environments*, PhD Thesis, University of California, Department of Electrical Engineering, Berkeley, USA, 2018.
- [12] Chen, L. (2019). *Electromagnetic field measurements in hospitals: Compliance with international safety guidelines*, PhD Thesis, National University of Singapore, Department of Biomedical Engineering, Singapore, 2019.
- [13] Garcia, M. (2020). *Assessment of EMF exposure from 5G networks using computational models*, Master's Thesis, Technical University of Munich, Institute of Environmental Engineering, Munich, Germany, 2020.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED FUNGUS DIAGNOSIS SYSTEMS: AN IMAGE PROCESSING-BASED APPROACH

Asst. Prof. Ebubekir SEYYARER

Van Yüzüncü Yıl University, eseyyarer@yyu.edu.tr - 0000-0002-8981-0266

Asst. Prof. Faruk AYATA

Van Yüzüncü Yıl University, farukayata@yyu.edu.tr - 0000-0003-2403-3192

Assoc. Prof. İsmail ACAR

Van Yüzüncü Yıl University, ismailacar@yyu.edu.tr - 0000-0002-6049-4896

ABSTRACT

Accurate classification of fungi commonly found in nature at the species level is crucial for ensuring food safety, public health, and ecological balance. In particular, incorrect identification of poisonous and hallucinogenic species can lead to serious health problems. Moreover, the use of bioactive compounds contained in edible and medicinal species in modern medicine and industry makes the accurate diagnosis of these organisms even more critical. In this context, the use of image processing and artificial intelligence-based classification systems is gaining importance day by day in order to overcome the limitations of traditional mycological methods. In this study, various deep learning models were compared for their ability to classify fungus species based solely on image data. Widely used CNN architectures such as EfficientNet, ResNet50, DenseNet121, VGG16, and InceptionV3 were evaluated on the same dataset and their validation performance was analyzed. The accuracy rates of the models were found to be ResNet50 (%88.27), EfficientNet (%88.05), VGG16 (%86.46), DenseNet121 (%80.84), and InceptionV3 (%77.96), respectively. In addition, the discrimination power of the models between classes was interpreted in detail with confusion matrix analyses and accuracy/loss curves. It was observed that some models showed a tendency to mix, especially among visually similar species. The findings show that modern architectures such as ResNet50 and EfficientNet can perform high-accuracy classification and that image-based diagnostic systems can provide reliable solutions in mycological applications. This study provides a solid foundation for future mobile applications or decision support systems and provides an artificial intelligence-supported approach to the field of mycology.

Keywords: Deep learning, Fungus classification, Image processing, CNN architectures.

1. INTRODUCTION

Fungi are organisms of critical importance for the sustainability of ecosystems due to their contributions to nutrient cycling in nature, their symbiotic relationships, and their decomposition roles. Moreover, a diversity of applications has been identified within the health and food industries. It is evident that substantial fungal groups, including Basidiomycota and Ascomycota, comprise a substantial proportion of mycological diversity, and are the focus of extensive research from both scientific and economic standpoints [1, 2]. This diversity carries implications for a number of fields, including but not limited to biology, toxicology and culture, thus rendering the accurate classification of fungi an imperative task.

In recent years, bioactive compounds found in edible and medicinal mushrooms have attracted attention for their antitumor, antibacterial, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties [3-5]. Furthermore, the toxic or hallucinogenic effects of some species pose serious risks to human health [6,7]. Consequently, the reliable and expeditious identification of fungal species is imperative for scientific accuracy, public health, food safety, and the conservation of natural resources. In this context, image processing and artificial intelligence-based learning systems offer significant advantages in the classification of mushrooms based on their visual characteristics. The utilisation of deep learning methodologies, most notably convolutional neural networks (CNNs), holds considerable promise for superseding conventional taxonomic approaches by attaining elevated levels of accuracy on voluminous datasets [8,9]. The objective of this study is to undertake a comparative analysis of various CNN-based architectures with the aim of identifying species from mushroom images. This will contribute to scientific research and enable the development of systems that can be supported by mobile applications to enable reliable mushroom identification in everyday life.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data set

The study utilised a substantial dataset comprising nine distinct fungal species. Macrofungal images were obtained from the Kaggle platform. Kaggle (USA) is a popular online platform where data science and machine learning competitions are held, datasets are shared, and projects are developed. The images are then resized to 224x224x3. In the context of model training, the dataset is typically partitioned into a training set comprising 80% of the data and a testing set consisting of the remaining 20%. Figure 1 presents a selection of fungal species from the dataset.



Figure 1. Analysis of the Data

2.2. EfficientNet

EfficientNet, a variant of the CNN architecture, offers new metrics for achieving better performance in image classification tasks while utilising fewer resources. The core CNN architecture has been optimised, and, in contradistinction to traditional scaling methods, it

employs a combined scaling coefficient (measurements of network depth, width, and resolution). Modifications to this scaling process yield a range of models, from EfficientNetB0 to EfficientNetB7. These models, obtained by increasing network depth and width, aim to achieve higher accuracy. Furthermore, updated versions of EfficientNetV2M and EfficientNetV2L are available to increase accuracy and efficiency [11-16].

2.3. Resnet50

The Resnet50 model, a 50-layer CNN architecture, was proposed by Microsoft in 2015 for image recognition. Resnet, short for Residual Network, is distinguished from other CNN architectures by virtue of its incorporation of residual blocks. These blocks facilitate the process of rapid progression by efficiently bypassing specific layers. The benefit of residual blocks is that the gradient is transferred with minimal alteration by establishing a connection between the activations of preceding layers and the subsequent layer. The Resnet architecture is particularly well-suited to mobile and embedded systems, with a clear emphasis on computational speed [17-19].

2.4. VGG16

VGG16 is a deep convolutional neural network (CNN) architecture that was proposed by the Visual Geometry Group (University of Oxford) in 2014. It distinguished itself in the ImageNet competition. The model is composed of 13 convolutional layers and 3 fully connected layers. The model's fundamental design element is the incorporation of fixed-size (3x3) filters in all convolutional layers. The employment of diminutive filters enables the acquisition of a more profound network through the utilisation of additional layers. This augmented depth facilitates the more efficacious learning of intricate visual features. Furthermore, a rectified linear unit (ReLU) activation function is applied after each convolutional layer, and 2x2 max pooling is used after certain layers to reduce the size. VGG16, with its simplicity and robust performance, is used as the baseline model in many visual classification and transfer learning applications [20-22]. Nevertheless, the extensive number of parameters results in a costly model with regard to training and memory.

2.5. DenseNet121

DenseNet121 is a variant of the Dense Convolutional Network architecture that was proposed by Huang et al. in 2017. The principal innovation of this model is that each layer utilises inputs not only from the preceding layer but also from all the antecedent layers. This dense connectivity structure has been shown to enhance gradient flow, thereby ensuring a more stable training process. Furthermore, it enables the training of a more complex model with an equivalent number of parameters. The model is constructed using specialised structures known as dense block and transition layers. This configuration has been demonstrated to enhance parameter efficiency, mitigate the risk of overfitting, and fortify the model's generalisation capability. The efficacy of the proposed methodology has been demonstrated in the context of limited datasets, including medical imaging [23, 24].

2.6. InceptionV3

InceptionV3 represents the third iteration of the Inception architecture developed by Google, with its introduction dating back to 2016. The primary characteristic of this architecture is its capacity to execute multi-scale feature extraction by employing filters of varying dimensions

(e.g., 1x1, 3x3, 5x5) concurrently within each Inception block. These parallel structures facilitate the model's capacity to learn from both local and global contexts within a single layer. Furthermore, while the computational cost is reduced by 1x1 convolutions, the performance is optimised by dividing large filters into smaller matrices using techniques called factorisation. InceptionV3's large and deep architecture has been demonstrated to provide high accuracy on large and diverse datasets. Its prevalence in image classification, object recognition, and transfer learning [25,26] is well-documented.

3. RESULTS AND EVALUATION

This study aims to compare different CNN-based architectures to identify mushroom species from images. The findings are presented below.

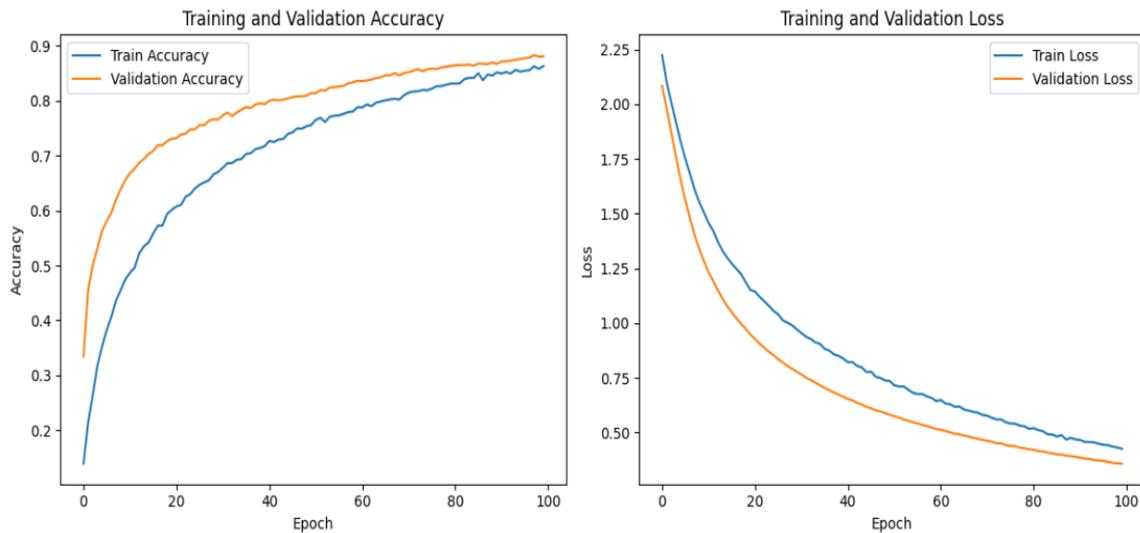


Figure 2. EfficientNet Accuracy/Loss graph

The accuracy graph in Figure 2 demonstrates that training and validation accuracy increase steadily with increasing epoch numbers. The accelerated enhancement in validation accuracy, notably during the initial 20 epochs, signifies the model's capacity to discern general features in the early stages. Despite the fact that the increase slows after the 20th epoch, the accuracy value exceeds 85%, thereby demonstrating a strong classification capacity. The loss graph demonstrates a consistent decrease in both the training and validation losses, indicating a positive trend in the model's performance. The lower validation loss in comparison to the training loss suggests that the model possesses a high degree of generalisation capability and is not afflicted by issues of overfitting. The findings indicate that the model demonstrates robust performance on both training and test data, with a steady progression throughout the learning process.

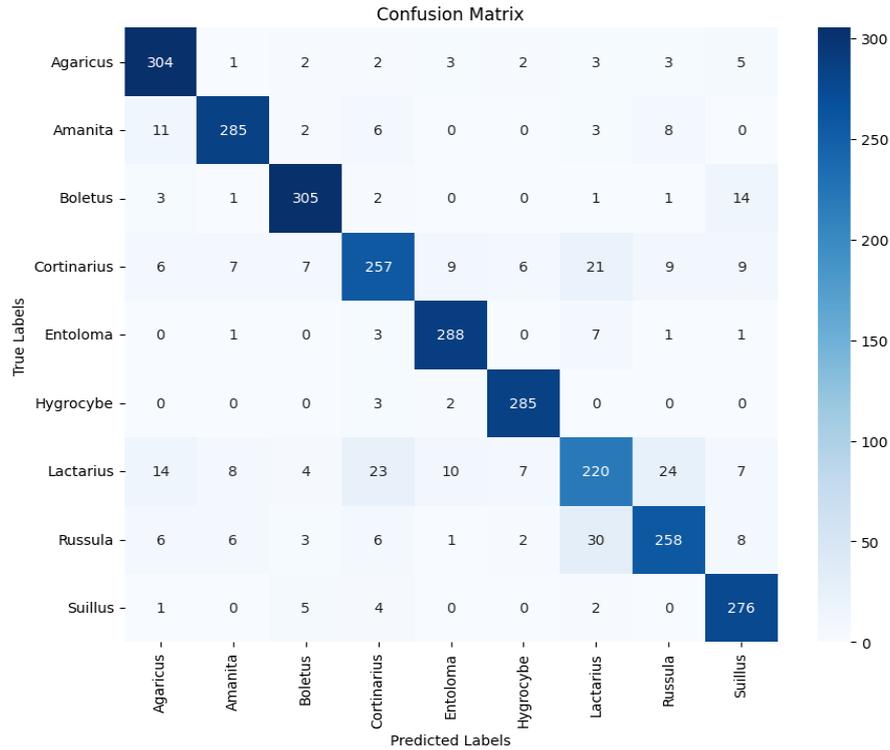


Figure 3. EfficientNet Confusion Matrix

The elevated values on the diagonal in Figure 3 signify that the model's classification accuracy is notably robust. The species most frequently identified included Boletus, Hygrocybe, and Suillus, suggesting that these species possess visually distinctive characteristics. In contrast, confusion with other classes has been observed in Lactarius and Russula. It is particularly noteworthy that Lactarius specimens are frequently misidentified as Cortinarius, Russula, and Agaricus. This finding suggests that the morphological similarities between these species complicate the model's classification process. In a similar vein, a certain degree of confusion has been observed within the Amanita class. This observation lends further support to the hypothesis that the model would benefit from increased visual diversity in the specimens. A comprehensive evaluation of the model's performance using a confusion matrix analysis reveals that while it has successfully acquired a substantial number of distinguishing features between different classes, it continues to exhibit a tendency to make errors in visually similar species. This finding indicates that the dataset should be balanced with additional examples and that differentiating features in similar species should be emphasised.

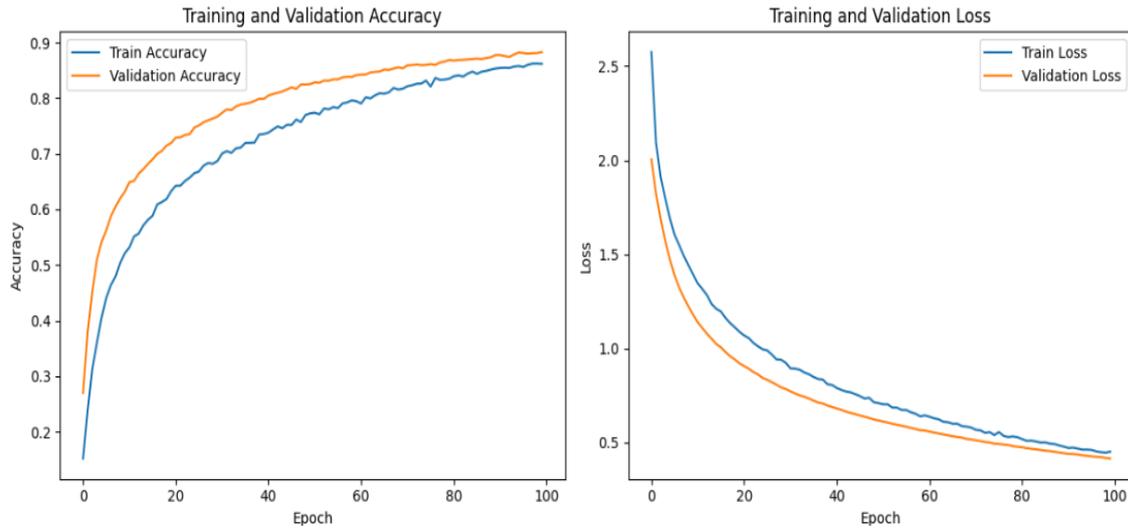


Figure 4. ResNet50 Accuracy/Loss graph

As demonstrated by the accuracy graph in Figure 4, both accuracy curves are steadily increasing, thus indicating a consistent progression in the model's learning process. The observation that the validation accuracy curve exceeds that of the training accuracy curve suggests that the model is not susceptible to overfitting and that the information acquired from the training data is generalisable. The loss graph demonstrates a consistent decrease in both loss curves, indicating that the model is reliably reducing error across both training and validation data. The lower validation loss in comparison to the train loss indicates that the model is able to generalise without the need for excessive memorisation during the training process. When both graphs are evaluated collectively, it can be concluded that the model has undergone a robust learning process and demonstrated balanced performance. Nevertheless, the decline in validation accuracy after the 80th epoch indicates that training time can be reduced by employing techniques such as early stopping.

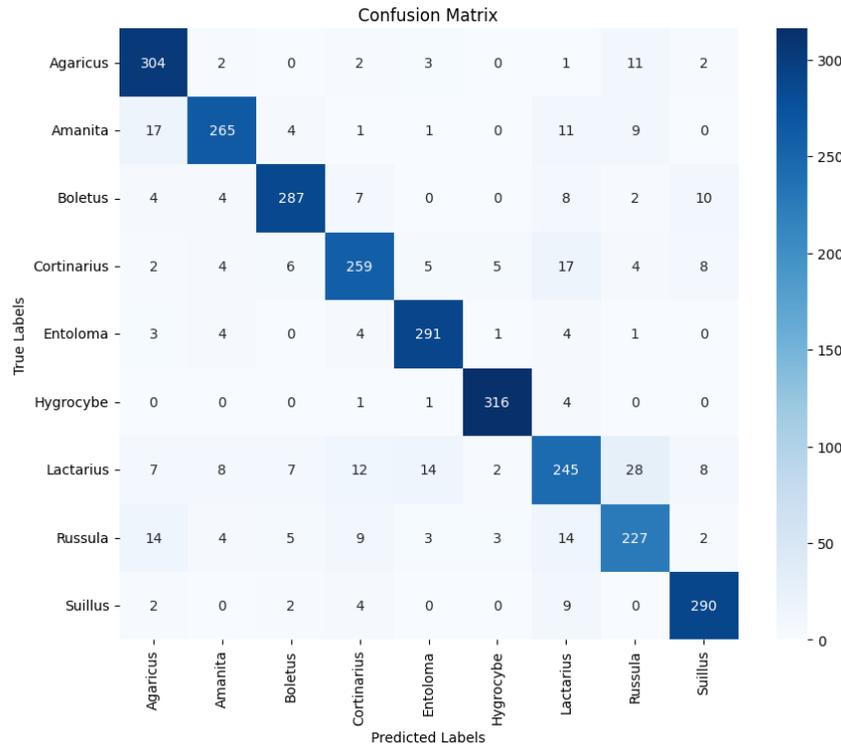


Figure 5. EfficientNet Confusion Matrix

The elevated values located along the diagonal in Figure 5 signify the model's robust classification efficacy. It is evident that species such as Hygrocybe, Entoloma, Agaricus, and Suillus are distinguished by their high accuracy rates. These species exhibit visually distinct characteristics that facilitate easy identification using the provided model. However, a certain degree of confusion has been observed within the genera Lactarius, Russula, and Cortinarius. The frequent confusion between Lactarius and Russula and Cortinarius suggests the presence of a high degree of visual similarity between these species. Cross-classifications are also noteworthy, albeit in low numbers, in the classes Amanita and Boletus. This finding suggests that the model exhibits high accuracy in distinguishing between certain species but tends to make errors in some morphologically similar species.

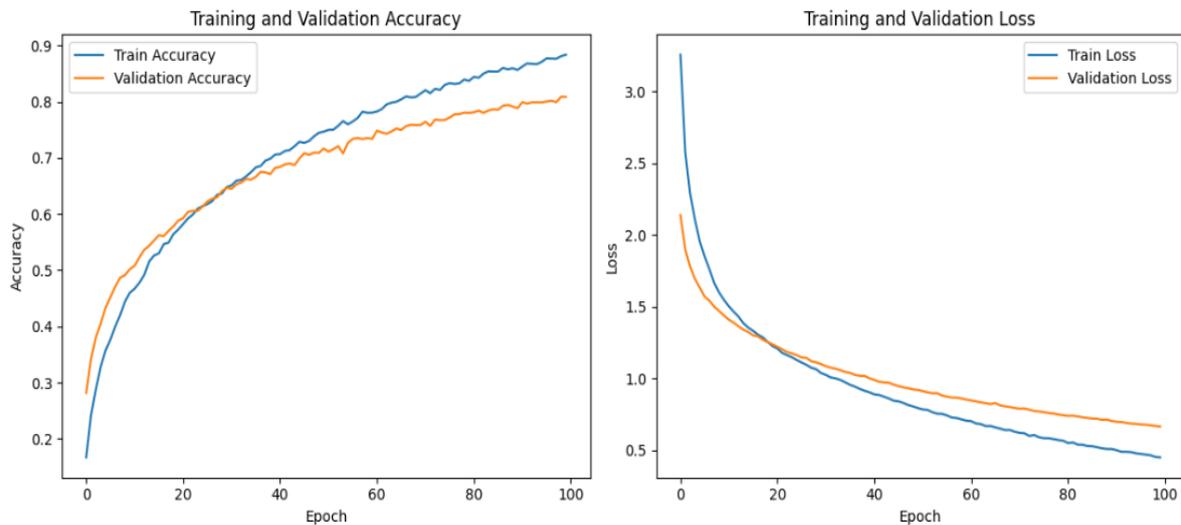


Figure 6. DenseNet Accuracy/Loss graph

As demonstrated in Figure 6, the training accuracy demonstrates a consistent and gradual increase. However, the validation accuracy experiences a decline from approximately epoch 40 onwards, reaching a substantial level of saturation after epoch 80. This finding suggests that, while the model continues to adapt to the training data, its performance on the validation data remains stable, and its generalisation ability begins to be limited. The Loss graph demonstrates that the training loss decreases steadily, while the validation loss decreases more gradually, particularly after epoch 40, and tends to exceed the training loss. This discrepancy suggests that the model exhibits a tendency towards overfitting by overfitting the training data after a certain point. In this context, early stopping or regularization techniques (e.g. dropout, weight decay) can be employed to enhance the model’s generalisation capability. In conclusion, the graphs reveal that the model is initially effective in the learning process, but its validation performance remains limited in later epochs. There is therefore room for improvement through the implementation of optimisation strategies.

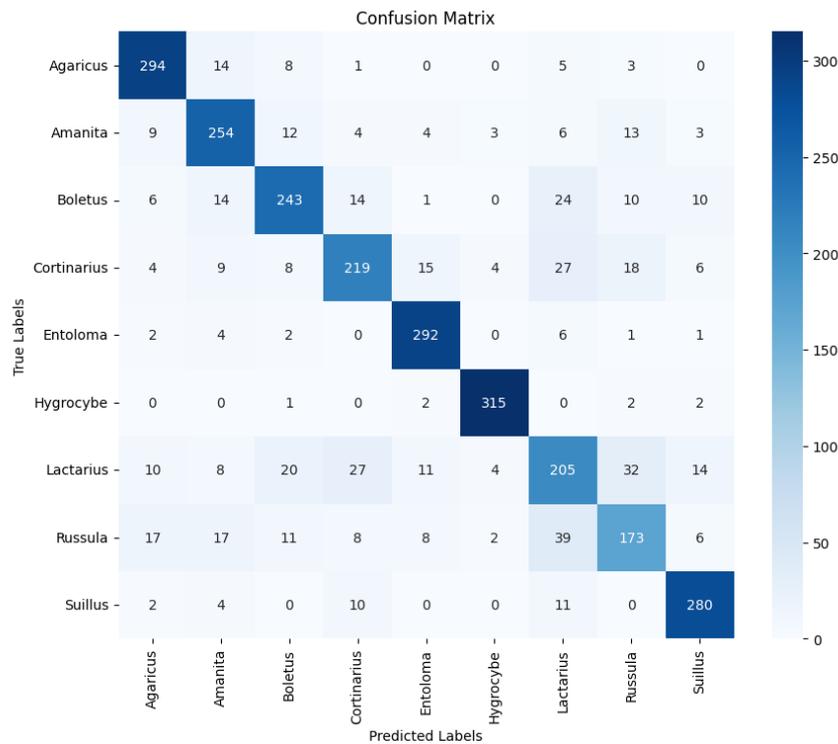


Figure 7. DenseNet Confusion Matrix

As demonstrated in Figure 7, the Hygrocybe, Entoloma, and Suillus classes exhibited high levels of accuracy, suggesting that these species possess distinctive visual characteristics that were effectively captured by the model. However, significant confusion has been observed in the Lactarius, Russula, Cortinarius, and Boletus species. It is a noteworthy phenomenon that Russula specimens are frequently misidentified as Lactarius, Boletus, and Cortinarius. This finding indicates that these species exhibit a high degree of morphological similarity, thereby suggesting that the model’s capacity to discern discriminative features is limited. Cross-classifications are also prevalent in the Lactarius class, with more than 20% of specimens being

misidentified as other species. These confusions indicate that some classes in the dataset are visually similar, and the model is having difficulty distinguishing these similarities.

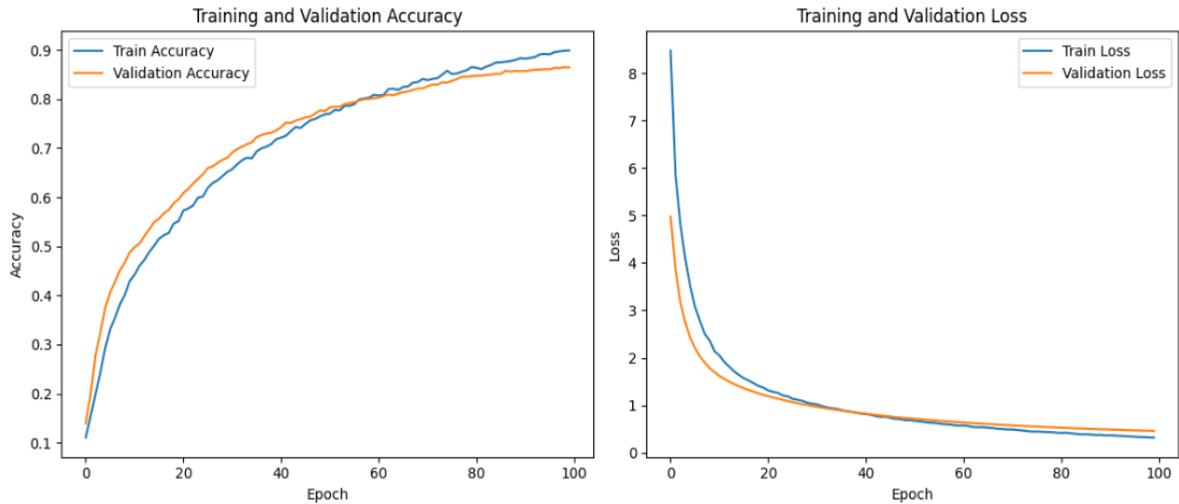


Figure 8. VGG16 Accuracy/Loss graph

The accuracy graph in Figure 8 demonstrates that both the training and validation accuracies are steadily increasing, reaching approximately 88% accuracy. This increase indicates that the model is capable of learning consistently from the data and exhibits balanced performance on both the training and validation sets. The validation accuracy is closely aligned with the training accuracy, indicating a minimal risk of overfitting. This observation is further substantiated by the loss graph. Training and validation losses decrease rapidly and plateau after approximately epoch 40. The proximity of the training and validation loss curves indicates that the model has a high degree of generalisation ability. It is noteworthy that the validation loss does not exceed the training loss, suggesting that the model is learning without the use of memorisation.

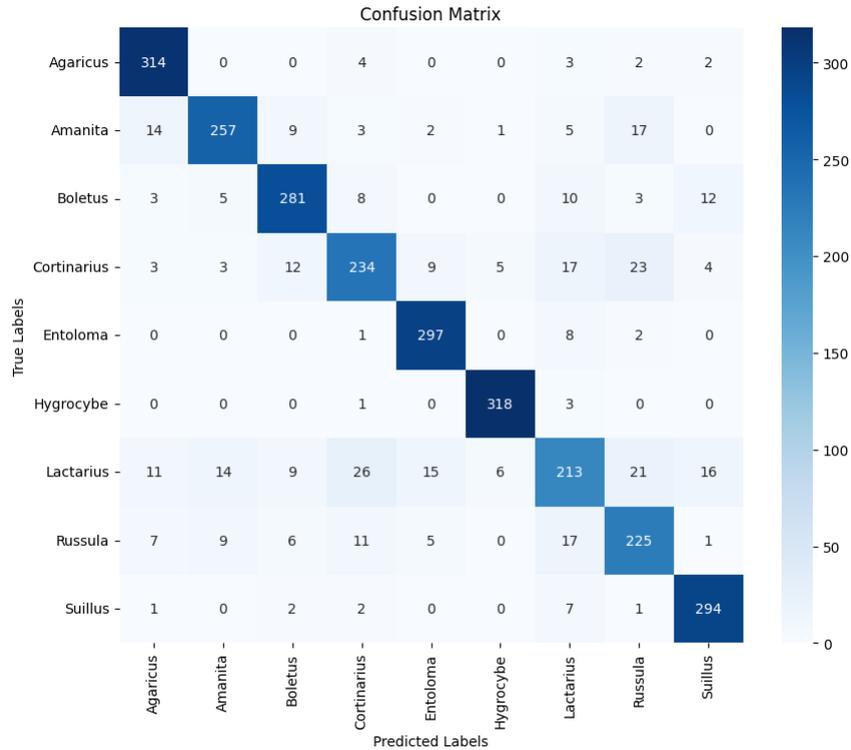


Figure 9. VGG16 Confusion Matrix

The elevated values on the diagonal in Figure 9 signify a substantial concentration of accurate classifications, thereby substantiating the model’s operation with high precision. It is notable that the high hit rates observed for Hygrocybe (318), Entoloma (297), and Suillus (294) serve to underscore the efficacy of the model in accurately distinguishing between these species. Conversely, substantial cross-classifications are evident in the Lactarius and Russula genera. Lactarius specimens were frequently misidentified as Cortinarius (26) and Russula (21), likely due to the visual similarity of these species. In a similar manner, Russula specimens were distributed across different classes, particularly with Boletus, Lactarius, and Cortinarius. This finding suggests that the model is encountering challenges in differentiating between certain classes, indicating the necessity for increased training data, enhanced visual discrimination, or supplementary feature engineering. However, moderate inter-class confusion was also observed for Agaricus, Boletus, and Amanita.

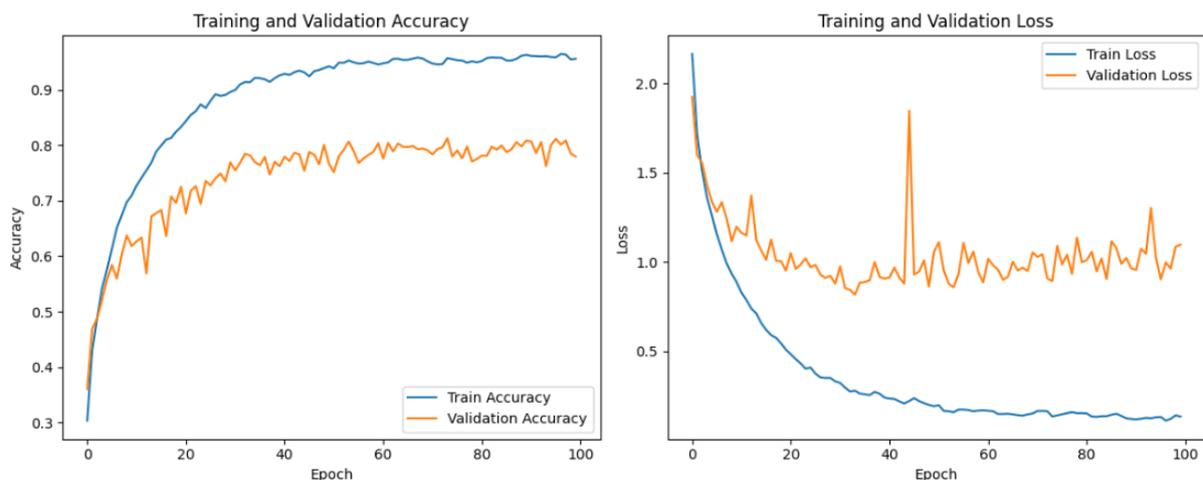


Figure 10. InceptionV3 Accuracy/Loss graph

As demonstrated in Figure 10, the training accuracy demonstrates a consistent and gradual increase, reaching a plateau at 95%, while the validation accuracy exhibits variability, maintaining around 80%. This discrepancy indicates that the model may be overfitting the training data, thereby compromising its capacity for effective generalisation to the validation data. The loss graph provides further elucidation on this matter: whilst the training loss demonstrates a steady decrease, the validation loss stabilises at a certain point, occasionally exhibiting sudden spikes. These spikes are indicative of the model's unstable predictions on the validation data, and potentially the effect of overfitting. The variability in the validation loss curve indicates that the model exhibits instability when confronted with novel data, suggesting that the learning process is not optimised for generalisation.

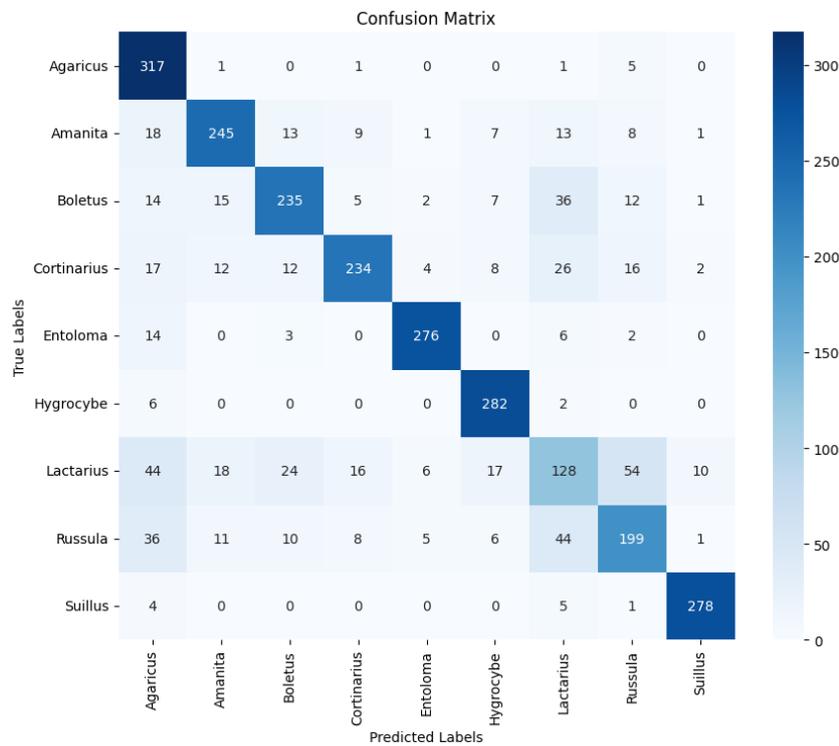


Figure 11. InceptionV3 Confusion Matrix

As demonstrated in Figure 11, the model demonstrates a high level of classification performance, yet exhibits substantial confusion among specific species. For instance, Agaricus, Hygrocybe, Entoloma and Suillus species were predominantly accurately classified, with the model evidently differentiating these species. Agaricus and Hygrocybe species demonstrated notably elevated levels of accuracy. However, a significant degree of confusion is evident in the genus Lactarius and Russula. A significant number of Lactarius specimens were misidentified as Russula, Boletus, Amanita, and Cortinarius; similarly, Russula was frequently misidentified as Lactarius and Boletus. This finding suggests that these species possess a high degree of morphological similarity, which hinders the model's capacity to differentiate between classes. Furthermore, examples of species shifting to different classes were observed in species such as Boletus and Cortinarius.

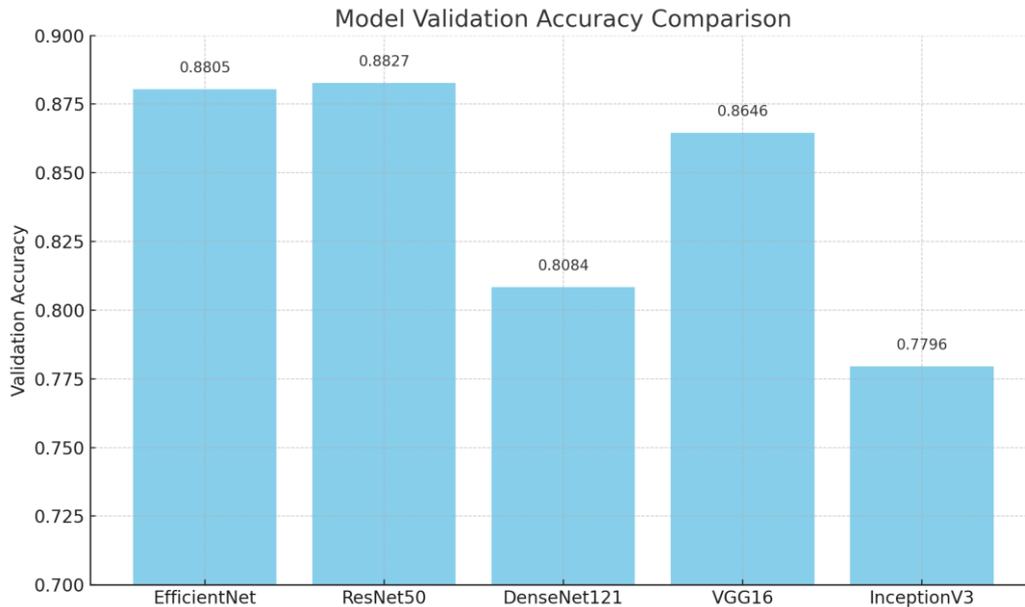


Figure 12. All Model Accuracy Value

A comparison of the validation accuracies of five distinct deep learning models in the graph reveals that ResNet50 achieved the highest performance with 88.27%, followed by EfficientNet with 88.05% and VGG16 with 86.46%. The three models under consideration have been demonstrated to offer robust and generalisable results for the classification of mushrooms. DenseNet121 demonstrated a satisfactory level of performance, achieving an accuracy of 80.84%. Conversely, InceptionV3 exhibited the lowest level of accuracy, with a result of 77.96%. The findings indicate that ResNet50, which employs residual connections, attains superior performance by minimising information loss in deep structures, and that EfficientNet's integrated scaling strategy contributes positively to generalization performance. Conversely, InceptionV3's inability to attain the anticipated level of performance on this particular dataset, despite its multi-scale configuration, underscores the significance of a congruent model-data alignment.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

The present study comparatively evaluated the classification performance of different deep learning architectures on macrofungus images. The analysis of EfficientNet, ResNet50, DenseNet121, VGG16, and InceptionV3 architectures indicates that ResNet50 (88.27%) and EfficientNet (88.05%) models achieved the highest accuracy rates. This enhancement can be attributed to the model's more stable gradient transition, facilitated by residual connections, and the efficient classification performance of EfficientNet's compound scaling strategy. The VGG16 model also demonstrated a strong performance with 86.46% accuracy, suggesting that it remains competitive with classical CNN architectures. In contrast, the DenseNet121 and InceptionV3 models demonstrated lower levels of accuracy, with 80.84% and 77.96%, respectively. Whilst the dense connectivity of DenseNet121 offers advantages in terms of computational efficiency, it was found to be limited in its ability to distinguish visual differences between classes in this particular dataset. However, the multi-scale feature extraction approach employed by InceptionV3 did not yield the anticipated benefits in the

analysis of such images. Furthermore, analysis of the confusion matrix for all models revealed that the degree of confusion between some species can increase or decrease depending on the model selected. The performance of the model is subject to variation, particularly in the case of visually similar species such as *Amanita–Russula* and *Entoloma–Hygrocybe*. This can be overcome with future improvements such as careful preprocessing, segmentation, and increased sample size.

In conclusion, this study not only demonstrates the effectiveness of deep learning-based approaches in mushroom classification but also demonstrates the potential of automatic identification systems for nature, health, and food safety. In the future, real-time mobile applications may be developed based on these models, with a view to contributing to the faster and more reliable identification of toxic species that threaten public health.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was carried out by Van Yuzuncu Yil University Scientific Research Projects Coordination Unit within the scope of project number FBA-2025-11608.

RESOURCES

- [1] Lu, J., Deng, Y., & Wang, S. (2020). Fungal diversity and ecological significance in forest ecosystems. *Fungal Ecology*, 47, 100956.
- [2] He, J., Zhou, M., & Yang, T. (2022). Taxonomic overview of Basidiomycota and Ascomycota: Diversity and ecological roles. *Mycological Progress*, 21(4), 301–320.
- [3] Abdulhadi, A. I., Alhammadi, A. S., & Ibrahim, I. M. (2023). Medicinal mushrooms and their pharmacological potential: A review. *Journal of Fungal Biology*, 15(2), 112–126.
- [4] Zhang, L., Wei, Y., & Chen, X. (2024). Bioactive compounds from medicinal mushrooms: Their pharmacological effects and mechanisms. *Phytotherapy Research*, 38(1), 78–94.
- [5] Canbolat, F., Acar, İ., & Tezel, R. N. (2024). Development of chitosan nanoparticle loaded with *Tricholoma fracticum* extract and evaluation of in vitro antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 7971-7986.
- [6] Akata, I., Kumru, E., Sahin, E., Acar, İ., & Kaya, E. (2024). *Amanita vidua*: A new record for Turkish *Amanita* Section *Phalloideae* based on morphological and molecular data. *Trakya University Journal of Natural Sciences*, 25(1), 97-110.
- [7] Okumuş, E., Canbolat, F., & Acar, İ. (2025). Evaluation of antioxidant activity, anti-lipid peroxidation effect and elemental impurity risk of some wild *Agaricus* species mushrooms. *BMC Plant Biology*, 25(1), 476.
- [8] Litjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, 42, 60–88.
- [9] Zhou, Y., Huang, Z., & Wu, Q. (2021). Automated mushroom species recognition using CNNs and transfer learning. *Ecological Informatics*, 63, 101309.
- [10] Mushrooms classification - Common genus's images. Web Adress: <https://www.kaggle.com/datasets/maysee/mushrooms-classification-common-genuss-images>. Access Date: 10.06.2025.

- [11] Talukder, M. A., Layek, M. A., Kazi, M., Uddin, M. A., & Aryal, S. (2024). Empowering covid-19 detection: Optimizing performance through fine-tuned efficientnet deep learning architecture. *Computers in Biology and Medicine*, 168, 107789.
- [12] Ching, W. P., Abdullah, S. S., Shapii, M. I., & Islam, A. M. (2024). Transfer learning for Alzheimer's disease diagnosis using efficientnet-B0 convolutional neural network. *J Adv Res Appl Sci Eng Technol*, 35(1), 181-191.
- [13] Aborokbah, M. (2024, April). Alzheimer's disease MRI classification using EfficientNet: A deep learning model. In 2024 4th International Conference on Applied Artificial Intelligence (ICAPAI) (pp. 1-8). IEEE.
- [14] Islam, M. M., Talukder, M. A., Uddin, M. A., Akhter, A., & Khalid, M. (2024). Brainnet: Precision brain tumor classification with optimized efficientnet architecture. *International Journal of Intelligent Systems*, 2024(1), 3583612.
- [15] Himel, G. M. S., Islam, M. M., & Rahaman, M. (2024). Utilizing EfficientNet for sheep breed identification in low-resolution images. *Systems and soft computing*, 6, 200093.
- [16] Torkey, H., & El-Bahnasawy, N. A. W. (2024). An Enhanced Deep Learning Model for MRI Image Classifications. *Menoufia Journal of Electronic Engineering Research*, 33(2), 32-40.
- [17] Younis, A., Qiang, L., Afzal, Z., Adamu, M. J., Kawuwa, H. B., Hussain, F., & Hussain, H. (2024). Abnormal brain tumors classification using resnet50 and its comprehensive evaluation. *IEEE Access*.
- [18] Singla, M., Gill, K. S., Chauhan, R., & Pokhariya, H. S. (2024, June). ResNet50 Utilization for Bag Classification: A CNN Model Visualization Approach in Deep Learning. In 2024 IEEE International Conference on Information Technology, Electronics and Intelligent Communication Systems (ICITEICS) (pp. 1-4). IEEE.
- [19] Patil, R. A., & Dixit, V. V. (2025). Detection and classification of mammogram using ResNet-50. *Multimedia Tools and Applications*, 1-24.
- [20] Kia, M., Zhang, Y., & Liu, J. (2025). Comparative analysis of VGG architectures for plant disease classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 210, 107269.
- [21] Ismail, H., Osman, A., & Khalil, W. (2024). An enhanced VGG16-based transfer learning approach for medical image classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 85, 104717.
- [22] Mannepalli, K., Pasupuleti, K., & Reddy, P. R. (2024). CNN models for classification of plant leaf diseases: A comparative study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 107365.
- [23] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely connected convolutional networks. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 4700–4708).
- [24] Jadon, S. (2020). A survey of loss functions for semantic segmentation. In 2020 IEEE Conference on Computational Performance Evaluation (pp. 1–7). IEEE.
- [25] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., & Wojna, Z. (2016). Rethinking the inception architecture for computer vision. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 2818–2826).
- [26] Iandola, F. N., Moskewicz, M. W., Karayev, S., & Keutzer, K. (2014). SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size. arXiv preprint arXiv:1602.07360.

PADDLEOCR İLE FİŞLERDEN ANLAMLI VERİ ÇIKARMA

Yüksek Lisans, Nida ŞENSOY MERCAN

Ege Üniversitesi, 91220000042@ogrenci.ege.edu.tr - 0009-0008-3593-9604

Doç. Dr. Rıza Cenk ERDUR

Ege Üniversitesi, cenk.erdur@ege.edu.tr - 0000-0001-6124-6352

ÖZET

Bu çalışmada, mobil cihazlarla fotoğrafı çekilen fişlerden metin tanıma işlemi gerçekleştirilerek, Fiş No, Tarih, Toplam Tutar, Toplam KDV ve Vergi No gibi temel bilgilerin otomatik olarak çıkarılması amaçlanmaktadır. Özellikle finans sektöründe faaliyet gösteren muhasebeciler tarafından kullanılan fişlerde yer alan bu veriler, geliştirilen yöntemle dijital ortama aktarılmakta ve Excel gibi araçlar üzerinden çıktılar elde edilmektedir. Çalışma, finansal verilerin verimli şekilde dijitalleştirilmesini ve işlenmesini sağlayarak bu alandaki operasyonel etkinliği artırmayı hedeflemektedir. Böylece finans, muhasebe ve vergi işlemlerinde veri girişine yönelik insan gücü ihtiyacı azalacaktır. Geliştirilen sistem, fiş üzerindeki metinleri PaddleOCR kütüphanesi aracılığıyla tanımakta; ardından bu metinler, Adlandırılmış Varlık Tanıma (Named Entity Recognition-NER) yöntemi kullanılarak ayrıştırılmaktadır.

Anahtar sözcükler: OCR, PaddleOCR, NER, Fişten Bilgi Çıkarımı

EXTRACTING MEANINGFUL DATA FROM RECEIPTS USING PADDLEOCR

ABSTRACT

This study focuses on extracting key information such as receipt number, date, total amount, total VAT, and tax number from photos of receipts taken with mobile devices. These details, which are commonly found on financial receipts used by accountants, are transferred into digital tools like Excel through a custom method. The goal is to make the processing of financial data easier and faster by reducing manual work in areas like finance, accounting, and taxation. First, text from receipt images is detected using the PaddleOCR library. Then, a Named Entity Recognition (NER) method is used to identify and separate the important fields.

Keywords: OCR, PaddleOCR, NER, Receipt Data Extraction

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok işletme, günlük olarak makbuz veya fatura gibi çok sayıda kâğıt belgeyle işlem yapmaktadır. Bu belgelerin büyük bir kısmı manuel olarak işlenmekte olup, bu durum hem zaman alıcıdır hem de maliyetlidir. Önerilen sistem ile fotoğrafı çekilen fişler üzerinden fiş numarası, tarih, vergi numarası, toplam tutar ve toplam KDV değerlerinin otomatik olarak çıkarılması hedeflenmektedir. Bu sayede işletmelerin belge işleme süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetmeleri sağlanacak hem zaman tasarrufu elde edilecek hem de manuel veri girişinden kaynaklanan hataların önüne geçilecektir.

Fişlerden metin çıkarımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri olan Lazic 'in (2020) tezinde, bir fiş metninden bilgi çıkarmak için üç farklı makine öğrenme algoritması karşılaştırılmıştır. Çıkarılan değerler satıcı adı, tarih, adres, toplam fiyat, vergi oranı, para birimi ve ürün listesidir. Deneyler de en iyi performansı BERT modeli, 0.455 mikro ortalama F1 skoru ile elde etmiştir. Bunu 0.278 mikro ortalama ile BiLSTM'nin izlemiştir. En düşük mikro ortalama skoru ise 0.167 ile GCN modelinde görülmüştür. BERT, ürün listesi dışında tüm alanlarda en iyi F1 skoruna ulaşırken, GCN üründe daha iyi performans sergilemiştir. Ancak, basit kural tabanlı model, tarih gibi belirli alanlarda daha iyi sonuçlar vermiş ve genel mikro ortalama F1 skoru 0.515 ile BERT modelini geride bırakmıştır. Bu farkın başlıca nedenlerinden biri, OCR hatasının diğer adımlara yayılması ve veri etiketleme sürecinde kusurlara yol açmasıdır. Diğer bir sebep ise fişlerdeki veri alanlarının çoğunun iyi tanımlanmış bir formata sahip olması ve basit kuralların bu alanları çıkarmak için yeterli olmasıdır.

Başka bir çalışmada, Yue (2018), fiş gibi belgelerden metin çıkarılması için bir işlem hattı (pipeline) geliştirmiştir. Çıkarılan değerler işlem tarihi ve fiyatıdır. İlk olarak fiş görüntüsünü kırma işlemi, Çizgi Segment Algılama (LSD), Holistik İç İç Kenar Algılama (HED) ve Hough Dönüşümü kullanılarak sağlanmıştır. Bu üç işlem tekniğinin bir arada kullanılması, kırma aracının doğru fiş alanını tespit etme olasılığını ve genel sistemin doğruluğunu önemli

ölçüde artırdığını tespit etmektedir. Son olarak kırılan görüntüdeki metin bloklarını tespit etmek ve işlemek için Tesseract Optik Karakter Tanıma uygulanmaktadır.

Ayrıca, Doanh vd. (2021), vietnamca makbuzlardaki satıcı, adres, tarih ve toplam maliyet gibi önemli bilgileri çıkarmak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, bilgilerin konumlarını tespit etmek ve metinleri tanımak üzere iki aşamada ele alınmıştır. Konum tespit aşamasında Faster R-CNN modeli kullanılmış ve iki temel yapı üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir: ResNet-101 ve ResNeXt-101 64x4d, metin tanıma aşamasında ise Transformer modeli, metin verisini zenginleştirilerek ve zenginleştirilmeyerek (with and without text data augmentation) eğitilerek kullanılmıştır. Yapılan deneylerdeki en iyi sonuç, zenginleştirilmiş metin verisi ile eğitilmiş ResNet-101 ve Transformer modeli kullanılarak elde edilen %32,19 CER (Karakter Hatası Oranı) olmuştur.

Ek olarak, Ullah vd. (2018), market fişlerinden gıda ürünlerinin, fiyatların, miktarların ve birimlerin doğru bir şekilde tanınması, çıkarılması ve düzeltilmesi amacıyla geliştirilmiş bir OCR sistemi sunmaktadır. Bu çalışmada, Google tarafından geliştirilen Tesseract-OCR, market fişi görsellerini daha iyi ayrıştırmak amacıyla yenilikçi görüntü işleme teknikleri (novel image processing techniques) ve sezgisel kurallar (heuristics rules) ile birleştirilmiştir. Görüntülerin arka planı kaldırılmış, boyutları yeniden ayarlanmış, metin eğiklikleri düzeltilmiş ve ikilileştirme (binarization) işlemi uygulanmıştır. Bu adımların ardından Tesseract-OCR'ye iletilen görüntülerden metin çıkarılmıştır. Çıkarılan metin, "kısa isimler sözlüğü" (short names dictionary) kullanılarak kısa kelimeler tam formlarına dönüştürülmüş, "sabit kelimeler sözlüğü" (constant words dictionary) yardımıyla gereksiz metinler basit bir şekilde elenmiştir. Sezgisel kurallar kullanılarak anlamsız metinler ayıklanmış, ürün adları, miktarları, birimleri ve fiyatları düzenli ifadeler (regular expressions) aracılığıyla tespit edilmiştir. Son olarak, bulanık arama (fuzzy search) yöntemiyle ürün adları market sözlüğü kullanılarak düzeltilmiştir.

Öte yandan, Antonio vd. (2022), Taranmış Makbuzlardan Optik Karakter Tanıma ve Bilgi Çıkartma (SROIE)¹ alanında yer alan mevcut araştırmaları incelemişlerdir. Ve SROIE'deki üç temel görevi ele almışlardır: Metin Tespiti, Metin Tanıma ve Bilgi Çıkartma. Metin tespiti ve tanıma sürecinde üç ana faktörün önemine dikkat çekmişlerdir: 1) metin satırı uzunluğu sınırlamaları, 2) bükülmüş metinlerin düzeltilmesi, 3) anlamsal unsurların tanıma sürecine dahil edilmesi. Bu bağlamda, uzun metin satırları için TextScanner² ve Semantik Tanıma Ağı (SRN) gibi yöntemler, bükülmüş metinler için ise TextSpotter³ ve ESIR⁴ gibi modeller etkili sonuçlar sunmuştur. Ayrıca, anlamsal ağların görsel ve metinsel semantiklerle ilgili önemli fırsatlar sunduğunu, ancak SROIE bağlamında alan spesifik kelime dağarcıklarının bu tekniklerin etkinliğini değerlendirmede kritik bir rol oynadığını vurgulamışlardır.

¹ SROIE (Scanned Receipt OCR and Information Extraction), sadece metin çıkarma değil, aynı zamanda metni anlamlı bilgilere ayırtmayı da sağlayan uçtan uca bir araştırma alanıdır.

² Wan ve arkadaşları (Wan vd., 2020) tarafından önerilen yaklaşım, bir görüntünün karakter segmentasyonunu tahmin etmek için RNN-attention-based yöntemi kullanan bir model.

³ He ve arkadaşları (He et al., 2018) tarafından önerilen bir yaklaşım. TextSpotter, metin algılama ve tanıma işlemlerini uçtan uca yapabilen bir modeldir. Model, RoIAlign (Region of Interest Alignment) adlı bir yöntemi kullanarak, görüntülerdeki metinleri doğru bir şekilde hizalar. Aynı zamanda karakter dikkat (character attention) mekanizması ile metinlerin doğru bir şekilde tanınmasını sağlar.

⁴ Zhan ve arkadaşları (Zhan et al., 2019) tarafından önerilen yaklaşım. Metin satırı görüntüsünün yinelemeli olarak düzeltilmesini sağlamaktadır.

Bir diğ er ç alışmada, Sayallar vd. (2023), Türkçe fiş verileri üzerinde yapay zeka yöntemleri kullanarak bir OCR motoru geliştirmiştir. Geliştirilen Nacsoft OCR motoru, Tesseract OCR, Easy OCR ve Google Vision API ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Nacsoft OCR'in Türkçe fişlerde diğ er motorlardan daha başarılı olduğ unu, ancak İngilizce fişlerde aynı başarılı yakalayamadığ ını göstermektedir. Bu durum, eđ itim veri setinin yalnızca Türkçe fişlerden oluşmasından kaynaklanmaktadır. Gelecek ç alışmalarda, veri setinin genişletilmesiyle başarının artırılabilieceğ i belirtilmiştir.

Son olarak, Tran vd. (2024) tarafından gerç ekleştirilen ç alışma, fiş analizi ve bilgi ç ıkarımına yönelik bir yöntem sunmaktadır. Ç alışma, grafik yapısına dayanan bir yaklaşım kullanarak, kahve dkkanlarındaki fişlerin kritik alanlarını belirlemeye odaklanmaktadır. Grafik Konvolüsyon Sinir Ağ ları (GCNN) kullanılarak yapılan modelleme, faturaların düzeninin bir grafik olarak temsil edilmesi ve bu yapısal bağ ımlılıkların derin đ renme teknikleri ile iş lenmesiyle, uç tan uca bilgi ç ıkarımını mümkün kılmaktadır. Araştırmada, filtre boyutlarının model doç ruluğ u üzerindeki etkisi de değ erlendirilmiş ve ař ırı đ renmeyi azaltmak iç in Chebyshev filtre boyutu ve dropout oranı gibi hiperparametrelerin rolü incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, %0.1'lik bir dropout oranı ve 12'lik bir Chebyshev filtre boyutunun en iyi performansı gösterdiğ ini ortaya koymaktadır. Yaklaşık 1500 fatura görüntüsü üzerinde yapılan testler sonucunda, modelin test setinde %96.4 ve eđ itim setinde %98.5 doç ruluk oranına ulaştığ ı bildirilmiştir. Bu bulgular, GNN'lerin otomatik fatura bilgi ç ıkarımında etkili olduğ unu ve veri giriş süreç lerini hız landırarak ç eşitli endüstrilerde verimliliğ i artırabileceğ ini göstermektedir. Gelecek ç alışmalar, en iyi GCN modelini belirlemek iç in farklı hiperparametrelerle GCNConv gibi diğ er GCN modelleri üzerinde deneyler yapılmasını önermektedir.

Bu ç alışmada, literatürdeki sınırlılıklar ve önceki araştırmalarda karşılaşılan eksiklikler göz önünde bulundurulularak, Türkçe fiş verileri üzerinde derin đ renme tabanlı bir OCR ç üzümünün uygulanabilirliğ i araştırılmıştır. Özellikle PaddleOCR'nin literatürde Türkçe veriler üzerinde yeterince değ erlendirilmemiş olması, bu modelin kapsamlı bir biç imde incelenmesini gerekli kılmıştır. Mayıs 2025 güncellemeleriyle birlikte PaddleOCR'nin performansında önemli bir artış göz lemlenmiş ve bu geliş me, Türkçe fişler gibi daha önce yeterince ç alışılmamış veri türleri iç in umut verici bir ç zm sunmuştur. .

2. DENEYSEL Ç ALIşMALAR

2.1. Veri Seti

Veri seti, cep telefonu kamerası ile çek ilmiş toplam 300 adet fiş fotoğ rafından oluşmaktadır. Tüm fişler Türkiye'deki alışveriş iş lemlerine ait belgelerdir. Görsel 1'de, veri setinde yer alan fiş örneklerinden bazıları sunulmaktadır.



Görsel 1. Veri setindeki fişlerden bir kesit

2.2. OCR (Optical Character Recognition – Optik Karakter Tanıma)

OCR (Optik Karakter Tanıma), bir formu tarayarak basılı ya da el yazısı karakterlerin yüksek hızda alfasayısal tanınmasını (yani hem harfleri hem de rakamları tanıma işlemi) gerçekleştiren bir sistemdir (United Nations Statistics Division, t.y.). OCR sisteminin tanıma modülü, karakter içeren formları tarayıcı aracılığıyla okur ve ardından bu karakterlerin görsellerini yorumlayarak, el yazısı ya da basılı karakterleri ASCII verisine (bilgisayar tarafından okunabilir metne) dönüştürür (United Nations Statistics Division, t.y.). Bu sayede OCR, formlardan veri yakalama sürecini otomatikleştirir, manuel veri girişini azaltarak zaman ve maliyet tasarrufu sağlar ve aynı zamanda form işleme uygulamalarında gerekli olan yüksek doğruluk seviyesini korur (United Nations Statistics Division, t.y.). Mevcut OCR sistemlerinin özelliklerini, avantajlarını ve sınırlılıklarını değerlendirmek amacıyla, PaddleOCR, EasyOCR ve Tesseract OCR sistemleri üzerinde durulacaktır.

2.1.1. PaddleOCR

PaddleOCR, PaddlePaddle ekibi tarafından geliştirilen bir OCR sistemidir. Du ve arkadaşları (2020) tarafından tanıtılan bu sistem; metin tespiti, tespit edilen kutuların düzleştirilmesi ve metin tanıma olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Model boyutunu küçültmek ve verimliliği artırmak amacıyla çeşitli stratejiler uygulanmıştır. Bu stratejiler arasında hafif ağ yapıları, öğrenme oranı düzenlemeleri ve ön eğitilmiş modellerin kullanımı yer

almaktadır. Sistem, alfasayısal karakterlerin tanınmasında yalnızca 900 KB'lik bir model boyutuna sahiptir. Bu da onu gömülü sistemlerde veya kaynak kısıtlı cihazlarda kullanım için uygun hâle getirir (Du et al., 2020). Öte yandan, güncel PaddleOCR sistemi 80'den fazla dili desteklemekte ve metin tanıma görevlerinde yüksek doğruluk sunmaktadır (PaddleOCR GitHub, 2025). Bu çok dilli destek, PaddleOCR'yi evrensel uygulamalar için tercih edilen açık kaynak OCR çözümlerinden biri hâline getirmektedir.

2.1.2. Tesseract OCR

Tesseract, 1984-1994 yılları arasında HP'de geliştirilmiş bir OCR motorudur ve 2005'te kodlarının tamamını açık kaynak haline getirilmiştir (Smith, 2007). 100'den fazla dil ve 35'ten fazla yazı sistemi için resmi Dil Modeli verileri mevcuttur. Çok dilli destek ve kararlılık açısından öne çıkan Tesseract, geniş dil kapsamı gerektiren uygulamalar için idealdir. Ancak, doğruluğunu artırmak için yoğun biçimde görüntü ön işleme tekniklerine dayanır; bu da daha fazla kaynak ve zaman gerektirebilir.

2.1.3. EasyOCR

EasyOCR, 2020 yılında kurulan Aided AI'nin ilk projesi olan açık kaynak kodlu bir OCR kütüphanesidir. 80'den fazla dili destekler. Derin öğrenme tabanlı yapısı ile genellikle daha yüksek doğruluk sunar. Ancak gerçek zamanlı uygulamalarda yüksek işlem gücü gerektirebilir (özellikle derin öğrenme tabanlı olduğu için). Ve bazı nadir ve özel yazı tiplerinde tanıma performansı sınırlı olabilir.

2.3. Veri Formatı

Veri setinde beş tür adlandırılmış varlık bulunmaktadır. Ve etiketleme yöntemi olarak B-I-O (Beginning-Inside-Outside) formatı kullanılmıştır. B-I-O etiketleme, doğal dil işleme (NLP) alanında, özellikle Adlandırılmış Varlık Tanıma (Named Entity Recognition - NER) görevlerinde yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir.

Bu etiketleme şemasına göre:

- “O” etiketi, kelimenin herhangi bir adlandırılmış varlık içinde olmadığını belirtir (Tjong vd., 2003).
- “I-XXX” etiketi, kelimenin türü XXX olan bir adlandırılmış varlığın içinde olduğunu gösterir (Tjong vd., 2003).
- Aynı türden (XXX) iki adlandırılmış varlık birbirini takip ettiğinde, ikinci varlığın ilk kelimesi “B-XXX” etiketiyle işaretlenir. Bu, yeni bir varlığın başladığını belirtmek için kullanılır (Tjong vd., 2003).

Veri setindeki adlandırılmış varlık türleri şunlardır: Fiş No (FISNO), Vergi Numarası (VD), Tarih (TARİH), Toplam KDV (TOPKDV), Toplam Tutar (TOPLAM).

Aşağıda, Excel dosyasından alınan etiketli veri örneklerinin yer aldığı tablo bulunmaktadır. Bu tablo, kullanılan etiketleme yönteminin pratikte nasıl uygulandığını göstermektedir.

| Dosya Adı | Metin | Etiket |
|------------------|---------------------------|---------------|
| fis_98.jpeg | MYAC21010308 | O |
| fis_98.jpeg | EKUNO:0001 | O |
| fis_99.jpeg | HATAY TEMIZLIK PLASTIK | O |
| fis_99.jpeg | UFUK CEL | O |
| fis_99.jpeg | 230S0KAKN0:16/B | O |
| fis_99.jpeg | KONAK/ IZMIR | O |
| fis_99.jpeg | KONAKV.D.30617120426 | B-VD |
| fis_99.jpeg | 2040031086 | O |
| fis_99.jpeg | TAR1H:02/11/2023 | B-TARİH |
| fis_99.jpeg | SAAT19:47 | O |
| fis_99.jpeg | FIS NO:0007 | B-FISNO |
| fis_99.jpeg | 1,000X750.00 | O |
| fis_99.jpeg | TEMIZLIK MAD. | O |
| fis_99.jpeg | %20 | O |
| fis_99.jpeg | 00052* | O |
| fis_99.jpeg | KDU | O |
| fis_99.jpeg | 125,00 | B-TOPKDV |
| fis_99.jpeg | 750,00 | B-TOPLAM |
| fis_99.jpeg | TOP | O |
| fis_99.jpeg | 00052* | O |
| fis_99.jpeg | NAKIT | O |
| fis_98.jpeg | MYAC21010308 | O |

| | | |
|-------------|---------------------------|---|
| fis_98.jpeg | EKUNO:0001 | O |
| fis_99.jpeg | HATAY TEMIZLIK PLASTIK | O |
| fis_99.jpeg | UFUK CEL | O |
| fis_99.jpeg | 230S0KAKN0:16/B | O |
| fis_99.jpeg | KONAK/ IZMIR | O |

Çizelge 1. Etiketli Veri Setinden Bir Kesit

2.4. SpaCy

Doğal dil işleme (NLP) alanında yaygın olarak kullanılan spaCy, hızlı, verimli ve üretime hazır uygulamalar için geliştirilmiş açık kaynaklı bir Python kütüphanesidir. spaCy, özellikle isim varlık tanıma (Named Entity Recognition – NER), bağımlılık çözümleme ve tokenizasyon gibi temel NLP görevlerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Kütüphane, önceden eğitilmiş modeller sunmasının yanı sıra, kullanıcıların kendi veri kümeleri ile yeni modeller eğitmesine de olanak tanır. Eğitilen bu modeller JSON formatındaki config.cfg dosyası ile yapılandırılır ve çıktılar model-best klasörüne kaydedilir. Eğitim süreci sonrasında oluşturulan model, tahmin işlemleri için doğrudan kullanılabilir (spaCy, 2024).

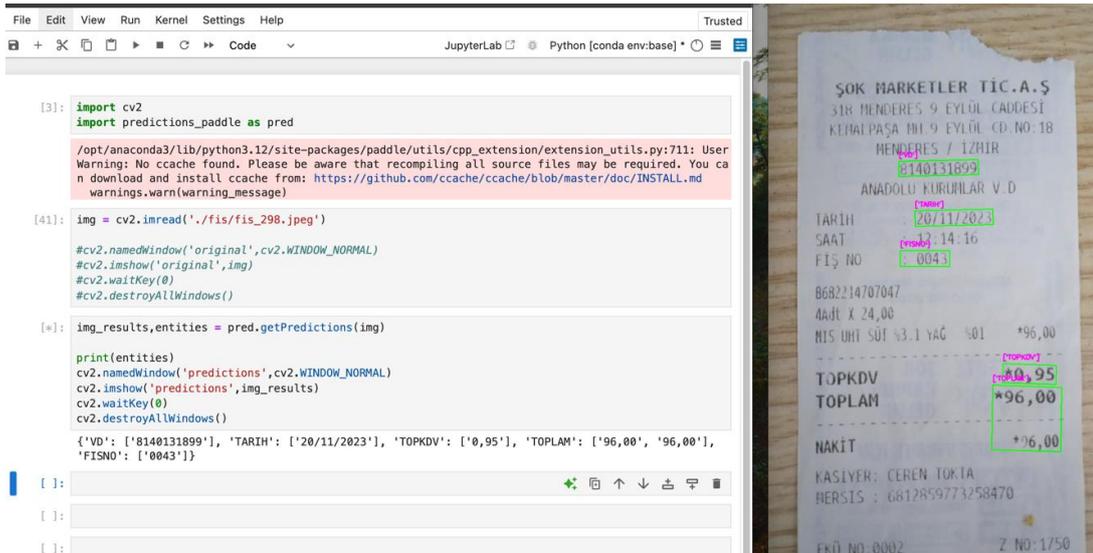
2.5. Yöntem ve Mimari

Fiş görselleri, PaddleOCR kütüphanesi kullanılarak metin formatına dönüştürülmüştür. Bu işlemin görselleştirilmiş örneği Görsel 2'de sunulmuştur. Seçilen 300 adet fiş görüntüsüne aynı yöntem uygulanmış ve elde edilen metin verileri, .csv formatında Excel dosyasına kaydedilmiştir. Veri ön işleme aşamasını takiben, etiketleme sürecine geçilmiştir.

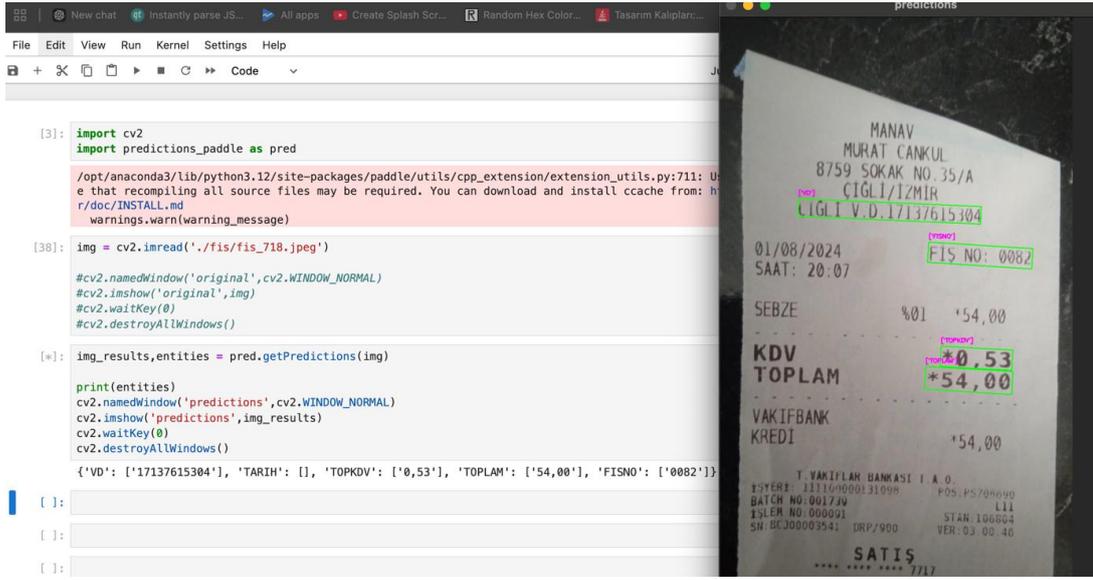
| id | text |
|--------------|-------------------------|
| fis_303.jpeg | MENDERES/IZMIR |
| fis_303.jpeg | 8140131899 |
| fis_303.jpeg | ANADOLU KURUMLAR V.D |
| fis_303.jpeg | TARİH |
| fis_303.jpeg | 01/11/2023 |
| fis_303.jpeg | SAAT |
| fis_303.jpeg | 12:38:11 |
| fis_303.jpeg | FISNO |
| fis_303.jpeg | 79 |
| fis_303.jpeg | 8682214720602 |
| fis_303.jpeg | AMIGOTUZSUZ SIYAH%01 |
| fis_303.jpeg | *83,95 |
| fis_303.jpeg | 6682214707764 |
| fis_303.jpeg | AMIGO DALINDAN CIGF L |
| fis_303.jpeg | *43,00 |
| fis_303.jpeg | TOPKDV |
| fis_303.jpeg | *1,26 |
| fis_303.jpeg | TOPLAM |
| fis_303.jpeg | *126,95 |
| fis_302.jpeg | TEL:02325206110 |
| fis_302.jpeg | GAZTEMTRV.D.:4490292859 |

Görsel 3. Excel Csv dosyasından bir kesit

Bundan sonraki aşamada, spaCy kütüphanesi kullanılarak model eğitimi gerçekleştirilmiş ve eğitim süreci sonucunda üretilen model çıktıları, model-best klasörü altında toplanmıştır. Son olarak, oluşturulan model, fiş örnekleri üzerinde test edilerek tahmin sonuçları elde edilmiştir. Görsel 4'te, etiketleme işleminin büyük oranda başarılı şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Ancak, toplam tutar bilgisi iki kez tekrar edilmiştir. Görsel 5'te ise yalnızca tarih değeri doğru şekilde algılanamamıştır.



Görsel 4. İlk fiş üzerinde modelin tahmin çıktısı



Görsel 5. İkinci fiş üzerinde modelin tahmin çıktısı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Model doğruluğunun değerlendirilmesinde, Regragui'nin (2024) tezinde uyguladığı yönteme benzer bir yaklaşım benimsenmiş ve bu doğrultuda alan bazlı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 50 fişten oluşan bir test veri kümesi oluşturulmuştur. Değerlendirme sürecinde beş temel alan dikkate alınmıştır: Vergi Dairesi (VD), Fiş No, Tarih, Toplam KDV (TOPKDV) ve Toplam Tutar (TOPLAM). Bu alanlara ilişkin model çıktıları, önceden etiketlenmiş veriler ile manuel olarak karşılaştırılmıştır. OCR modeli, bir alanı doğru şekilde tanıdığı takdirde bu alan doğru, metni tanımadaki başarısız olduğu durumlarda ise yanlış olarak değerlendirilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Doğru çıkarılan alan sayısı}}{\text{Toplam alan sayısı}} \times 100$$

$$\text{Ortalama süre} = \frac{\sum \text{İşlem süreleri}}{\text{Toplam alan sayısı}}$$

Elde edilen sonuçlara göre, belgeler için ortalama işleme süresi 3,76518 saniye, ortalama doğruluk oranı ise 67% olarak bulunmuştur. İnsan yetenekleriyle kıyaslandığında, bir kişinin bir belgeyi okuma, tarama ve depolama işlemlerinin tamamını bu süre içinde gerçekleştirmesi, işlem hızı ve doğruluk sınırlamaları nedeniyle mümkün değildir (Regragui, 2024).

Otomatik sistemler ise bu tür görevleri verimli bir şekilde yerine getirmek üzere özel olarak tasarlandıklarından, hem hız hem de doğruluk açısından insan performansını aşan bir yetkinlik sunarlar (Regragui, 2024).

Aşağıda yer alan Çizelge 2'de, bu değerlendirme sürecine ilişkin sonuçlar sunulmaktadır.

| No | Dosya Adı | VD | TARİH | TOP KDV | TOPLAM | FIS NO | SURE (sn) | ACC |
|----|--------------|----------------------------|------------|---------|-----------------|--------|-----------|-------|
| 1 | fis_301.jpeg | 8140131899 | 15/11/2023 | 0.96 | 96.68 | x | 2,972 | 80% |
| 2 | fis_302.jpeg | 4490292859 | 17/10/2023 | 158 | x | 0278 | 4,494 | 60% |
| 3 | fis_303.jpeg | 8140131899 | 01/11/2023 | 1,26 | 126,95 | 0079 | 2,302 | 100 % |
| 4 | fis_304.jpeg | 0175005184 6 | 17.10.2023 | x | 85 | 0035 | 5,204 | 60% |
| 5 | fis_305.jpeg | 1120933605 07 822363 | 13.11.2023 | 0,15 | 14,99, 15,00 | x | 3,468 | 40% |
| 6 | fis_306.jpeg | 4470089689 , | 18/08/2023 | 1.98 | 31.56 | 0249 | 6,653 | 80% |
| 7 | fis_307.jpeg | 1750051846 , | 12/08/2023 | 4.63 | 467,80 | 0035 | 6,138 | 80% |
| 8 | fis_308.jpeg | 0175005184 60 8645 | 08.11.2023 | 0,79 | 80,27 | 0141 | 3,632 | 80% |
| 9 | fis_309.jpeg | x | 11/10/2023 | 148 | x | 0091 | 5,446 | 60% |
| 10 | fis_310.jpeg | 0010600612 | x | 4.13 | 417.11 | 0045 | 5,053 | 80% |
| 11 | fis_311.jpeg | 1750051846 | 05/10/2023 | 0.34 | 34.1 | 0034 | 4,311 | 100 % |
| 12 | fis_312.jpeg | 001060612 | 05/10/2023 | 11.23 | x | 0272 | 8,387 | 80% |
| | | 6220529513 , | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|----|--------------|--------------------------|-------------------------------|-------|-------------------|------|-------|-----|
| | | 0622052951 30 0016 | | | | | | |
| 13 | fis_313.jpeg | 3161919457 6 | 17/12/2023 | 19,55 | 215,00, 215,00 | 0003 | 2,458 | 80% |
| 14 | fis_314.jpeg | 3161919457 6 | 14/12/20 | 30,45 | 335,00 | x | 3,009 | 60% |
| 15 | fis_315.jpeg | 3770866340 4 | 29/12/2023 | 27,27 | 300,00 | x | 3,195 | 80% |
| 16 | fis_316.jpeg | 5901272769 | x | 30,91 | 340,00 | x | 3,249 | 60% |
| 17 | fis_317.jpeg | 3770866340 4 | x | 29,09 | 320,00 | x | 3,944 | 60% |
| 18 | fis_318.jpeg | 3161919457 6 | x | 34,55 | 380,00 | x | 3,477 | 60% |
| 19 | fis_319.jpeg | 3161919457 6 | x | 24,55 | 270,00 | x | 3,143 | 60% |
| 20 | fis_320.jpeg | 3161919457 6 | x | 19,09 | 210,00 | x | 3,527 | 60% |
| 21 | fis_321.jpeg | 3770866340 4 | 27/12/2023 | 23,18 | 255,00, 255,00 | x | 2,929 | 60% |
| 22 | fis_322.jpeg | 0232341222 3 | x | 27,27 | 300,00 | x | 3,064 | 40% |
| 23 | fis_323.jpeg | 3770866340 4 | 07/12/2023 | 21,36 | 235,00, 235,00 | x | 2,983 | 60% |
| 24 | fis_324.jpeg | 3161919457 6 | x | 13,18 | 145,00 | x | 3,94 | 60% |
| 25 | fis_325.jpeg | x | 13-12- 2023, 13/12/2023 | 15,45 | 170,00 | x | 3,953 | 40% |
| 26 | fis_326.jpeg | 1383686502 78 | 06-12-2023 | x | 230,00 | 29 | 3,256 | 60% |

| | | | | | | | | |
|----|--------------|------------------|-----------------|-------|-------------------|------|-------|----------|
| 27 | fis_327.jpeg | 3161919457 6 | 03/12/2023 | 12,73 | 140,00 | x | 3,699 | 80% |
| 28 | fis_328.jpeg | 3770866340 4 | x | 10,45 | 115,00, 115,00 | x | 3,06 | 60% |
| 29 | fis_329.jpeg | 8710036190 | 16/12/2023 | 15,45 | 170,00 | 0016 | 3,453 | 100 % |
| 30 | fis_330.jpeg | 3836865027 8 | x | 10,00 | 110,00 | x | 3,292 | 60% |
| 31 | fis_331.jpeg | 3161919457 6 | 08/12/2023 | 32,73 | 360,00 | 0026 | 3,607 | 100 % |
| 32 | fis_332.jpeg | 3770866340 4 | x | 10,45 | 115,00, 115,00 | x | 2,794 | 40% |
| 33 | fis_333.jpeg | 3161919457 6 | x | 17,73 | 195,00 | x | 3,971 | 60% |
| 34 | fis_334.jpeg | 5770532093 | x | 90,91 | 1.000,00 | x | 3,183 | 60% |
| 35 | fis_335.jpeg | 3161919457 6 | 19/12/2023 | 10,00 | 110,00 | x | 3,697 | 80% |
| 36 | fis_336.jpeg | 2951162999 | x | 27,27 | 300,00 | x | 3,159 | 60% |
| 37 | fis_337.jpeg | 3161919457 6 | x | 18,18 | 200,00 | x | 3,28 | 60% |
| 38 | fis_338.jpeg | 2951162999 | 21/12/2023 | x | 429,00 | x | 3,04 | 60% |
| 39 | fis_339.jpeg | 3161919457 6 | 01/12/2023 | 35,45 | 390,00 | x | 3,419 | 80% |
| 40 | fis_340.jpeg | 6220529513 | 17/01/2024 | 0.79 | x | 0597 | 3,657 | 80% |
| 41 | fis_341.jpeg | 1923556964 0 | 16/01/2024 | 11,82 | 130,00 | 0034 | 2,343 | 100 % |
| 42 | fis_342.jpeg | 0141103561 88 | 117/01/202 4 | 26.50 | 159.00 | 0250 | 5,277 | 60% |
| 43 | fis_343.jpeg | 1713761530 4 | x | 0,91 | 91,65 | 0063 | 1,811 | 80% |

| | | | | | | | | |
|----|--------------|-----------------|------------|------|--------|------|-------|------|
| 44 | fis_344.jpeg | x | 10-10-2023 | 0,50 | 0,00 | 108 | 2,31 | 60% |
| 45 | fis_345.jpeg | 8140131899 | 23/10/2023 | 1,45 | 142,37 | 0110 | 3,667 | 100% |
| 46 | fis_346.jpeg | x | 29.11.2023 | 41 | 43,68 | x | 5,264 | 40% |
| 47 | fis_347.jpeg | x | x | x | 040 | x | 4,714 | 0% |
| 48 | fis_348.jpeg | x | 25.10.2023 | 097 | 98,35 | 0216 | 3,892 | 60% |
| 49 | fis_349.jpeg | 1120933605 0 | 07.10.2023 | 045 | 91,88 | 157 | 4,545 | 80% |
| 50 | fis_350.jpeg | 3435509797 2 | 02/10/023 | 099 | 99,50 | 0014 | 2,938 | 60% |

Çizelge 2. Doğruluk değerlendirilmesi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, PaddleOCR kullanılarak Türkçe fiş verileri üzerinde yapılan metin tanıma işlemleri sonucunda, 300 örnekten oluşan veri setiyle %67 doğruluk oranı elde edilmiştir. Modelin genel başarımını ve kararlılığını artırmak amacıyla, veri setinin 1.200 örneğe çıkarılması planlanmaktadır. Ayrıca, PaddleOCR modeline doğrudan fiş verileri sunulmadan önce uygulanabilecek çeşitli görüntü iyileştirme teknikleri —örneğin, görüntü döndürme, parlaklık ayarı ve bulanıklaştırma gibi artırma yöntemleri— ile metin tanıma performansının daha da artırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Antonio, J., Abdurrohman, H., Putra, A.R., Putra, M.S.T, 2022, A Survey on Scanned Receipts OCR and Information Extraction, Jakarta Artificial Intelligence Research, Jakarta, Indonesia, 27p.
- [2] Doanh C. Bui, Dung Truong, Nguyen D. Vo and Khang Nguyen, 2021, MC-OCR Challenge 2021: Deep Learning Approach for Vietnamese Receipts OCR, University of Information Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam, 6p.
- [3] Lazic, M., 2020, Using Natural Language Processing to extract information from receipt text, Degree project in computer science and engineering, second cycle, 30 credits, Stockholm, Sweden, 78p.
- [4] Sayallar, Ç., Sayar, A., Babalık, N., 2023, An OCR Engine for Printed Receipt Images using Deep Learning Techniques, Computer Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey, 8p.
- [5] Ullah, R., Sohani, A., Rai, A., Ali, F., Messier, R., 2018, OCR Engine to Extract Food-Items, Prices, Quantity, Units from Receipt Images, Heuristics Rules Based Approach, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 9, Issue 2, Pakistan, 9p.
- [6] Tran, An, C., Le, Bao, T., Nguyen, Hai, T., 2024, Efficiency evaluation of filter sizes on graph convolutional neural networks for information extraction from receipts, Bharati Vidyapeeth's Institute of Computer Applications and Management, 10p.
- [7] Yue, A., 2018, Automated Receipt Image Identification, Cropping, and Parsing, Princeton University, 9p.
- [8] Xie, S., Tu, Z., 2015, Holistically-Nested Edge Detection, Dept. of CogSci University of California, 10p.
- [9] Regragui, H., *OOO: An OCR-OpenAi-Clickup Integration For Efficient Document Processing*, Bilgisayar Mühendisliği Tezi, İstinye Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2024.
- [10] Smith, R., An Overview of the Tesseract OCR Engine, Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007).
- [11] Tjong, E., F., Sang, K., Meulder, F., D. Introduction to the CoNLL-2003 Shared Task: Language-Independent Named Entity Recognition, In Proceedings of the Seventh Conference on Natural Language Learning at HLT-NAACL 2003, pages 142–147.
- [12] Du, Y., LI, C., Guo, R., Yin, X., Liu, W., Zhou, J., Bai, Y., Yu, Z., Yang, Y., Dang, Q., And Wang, H. (2020). PP-OCR: A Practical Ultra Lightweight OCR System. (arXiv:2009.09941).
- [13] United Nations Statistics Division (UNSD). (n.d.). Data Capture for Censuses and Surveys – Chapter 6: Optical Character Recognition (OCR). Erişim tarihi: 27.07.2025,

from

https://unstats.un.org/unsd/demographic/sources/census/wphc/dataCapture/docs/Data-Capture_ch06-ABS.pdf

[14] Wan, Z., He, M., Chen, H., Bai, X., Yao, C., (2020) TextScanner: Reading characters in order for robust scene text recognition. AAAI 2020 - 34th AAAI Conference on Artificial Intelligence.

[15] Zhao, X., Niu, E., Wu, Z., Wang, X., 2019, CUTIE: Learning to Understand Documents with Convolutional Universal Text Information Extractor, New IT Accenture.

[16] He, T., Tian, Z., Huang W, et al 2018, An End-to-End TextSpotter with Explicit Alignment and Attention. In: 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, pp 5020–5029.

[18] <https://spacy.io/usage/training#basics>
(Erişim tarihi: 28.07.2025)

GÜÇ SİSTEMLERİNDE STATİK KONDENSERİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYMAZ

Düzce Üniversitesi, eneskaymaz@duzce.edu.tr - 0000-0002-4774-0773

Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi, kenandosoglu@duzce.edu.tr- 0000-0001-8804-7070

Öğr. Gör. Muhammet DEMİRBAŞ

Kastamonu Üniversitesi, muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-5223-1279

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinde, küresel enerji talebindeki hızlı artışa bağlı olarak ortaya çıkan ani yük değişimlerine karşı, ekonomik ve sürdürülebilir bir enerji arzı sağlayabilmek için sistemin çalışma koşullarının önceden belirlenmesi gerekmektedir. Bundan dolayı, güç sistemlerinde kararlı hal koşulları dikkate alınarak güç akışı analizi gerçekleştirilir. Güç akışı, güç sistemindeki baraların gerilim, faz açısı, aktif güç ve reaktif güç büyüklüklerinin hesaplanmasını sağlar. Yapılan bu çalışmada, 3 makineli 9 baralı bir güç sistemi için Newton-Raphson yöntemi kullanılarak güç akışı analizi gerçekleştirilmiş ve Statik Kondenserin (STATKON) güç akışı ve kayıplara olan etkisi değerlendirilmiştir. Benzetim çalışması, Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT)'da gerçekleştirilmiş ve STATKON'un gücü 100 MVA olarak, süseptans değeri ise 0.5 p.u. olarak seçilmiştir. Ayrıca, STATKON'un yerleşim yeri belirlenirken, güç akışı analizi sonucunda bara gerilim profilinin en düşük olduğu bara tercih edilmiştir. Benzetim çalışmasının ilk aşamasında sistemde STATKON'un yer almadığı durum incelenirken, ikinci aşamada ise STATKON'nun mevcut olduğu durum incelenmiştir. Benzetim çalışması sonuçları aktif ve reaktif güç kayıpları ile bara gerilim, açı ve aktif-reaktif güç profilleri bakımından değerlendirildiğinde, 3 makineli 9 baralı bir güç sisteminde STATKON kullanımının daha etkili sonuçlar sunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: STATKON, Güç Akışı, Newton-Raphson Yöntemi, PSAT.

1. GİRİŞ

Teknolojik ve ekonomik gelişmelerin her geçen gün arttığı bir çağda, küresel enerji talebinde meydana gelen artış elektrik güç sistemlerinin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesini zorunlu kılar. Elektrik enerjisinin kaliteli ve kesintisiz bir şekilde iletilebilmesi ve gelecekte oluşabilecek sistemsel problemlerin önceden tespit edilebilmesi için güç sistemlerinde detaylı analiz ve planlamaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada, güç akışı analizi güç sistemlerinde planlamanın temelini oluşturan bir mühendislik aracıdır [1]. Güç akışı analizi ile kararlı durum koşulları için güç sisteminde mevcut olan generatörlerin ürettiği güç, gerilim değerleri ve kayıplar gibi kritik veriler hesaplanabilir [2]. Bu verilerin hesaplanmasında kullanılan Newton-Raphson [3], Gauss-Seidel [4] ve Fast Decoupled [5] gibi matematiksel

yöntemler en iyi bilinen güç akışı analizi yöntemlerindedir. Bununla birlikte, uygulamada, Newton-Raphson güç akışı yöntemi, ikinci dereceden yakınsama ve gelişmiş sağlamlık açısından daha sık tercih edilmektedir [6]. Literatürde Newton-Raphson yöntemi ile güç akışı analizinin gerçekleştirildiği farklı çalışmalar mevcuttur. Örneğin, [7]'de yer alan çalışmada, güç akışı analizi gerçekleştirilerek dağıtım şebekesinde yer alan her bir hat için gerçek güç, reaktif güç ve gerilim büyüklüğü Newton-Raphson yöntemi ile hesaplanmıştır. [8]'de dengeli ve dengesiz sistemler için jakobiyen matrisinin karmaşık formunun basitleştirildiği üç fazlı bir güç akışı formülasyonu önerilmiştir. [9]'da dengesiz radyal bir sistem için Newton-Raphson yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen güç akışı analizinde, jakobiyen matrisinde giriş verisi olarak bara ve hat verileri ve durum değişkeni olarak ise hat gerilimi kullanılmıştır. [10]'da, dengesiz üç fazlı elektrik şebekelerinde Newton-Raphson kullanılarak akım enjeksiyon tekniğine dayalı çözüm yöntemi önerilmiştir. [11]'de Newton-Raphson yönteminin kutupsal, karmaşık ve kartezyen olmak üzere üç koordinat ve güç ile akım uyumsuzluğu olmak üzere iki uyumsuzluk fonksiyonu için altı farklı versiyonu önerilmiştir. Çalışmada, kutupsal akım uyumsuzluğu ve kartezyen akım uyumsuzluğu fonksiyonlarını kullanan versiyonların şebekeler için en iyi sonucu verdiği görülmüştür. [12]'de güç akışı analizi gerçekleştirilerek Newton-Raphson'ın orijinal ve geliştirilen bazı versiyonları çeşitli güç sistemleri için kıyaslanmıştır. [13]'te 57 baralı bir güç sistemi için güç akışı analizi gerçekleştirilmiş ve Newton Raphson yönteminin Gauss-Seidel yöntemine kıyasla daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. [14]'te gerçekleştirilen yük akışında ise en iyi bilinen üç matematiksel yöntem olan Newton-Raphson, Gauss-Seidel ve Fast Decoupled yöntemleri IEEE 9-30-ve -57 baralı test sistemleri için karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, yukarıda bahsedilen çalışmalardan farklı olarak, 3 makineli 9 baralı bir güç sistemi için Statik Kondenserin (STATKON) güç akışı ve kayıplara olan etkisi Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) aracılığıyla incelenmiştir. Sistemde 100 MVA gücünde ve 0.5 p.u değerindeki STATKON'un kullanılmadığı ve kullanıldığı durumlar için aktif ve reaktif güç kayıpları ile bara gerilim, açı ve aktif-reaktif güç profilleri detaylı olarak incelenmiştir.

2. GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

Bu çalışmada, güç akışı analizi Newton-Raphson yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece bütün baralar için gerilim, faz açısı ve aktif-reaktif güç değerleri elde edilmektedir. Sistemde yer alan bir i barası için akım, gerilim ve aktif-reaktif güç arasındaki ilişki Denklem (1)- Denklem (6) arasında verilmiştir:

$$I = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - V_j \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (1)$$

$$P_i + jQ_i = VI_i^* \quad (2)$$

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - V_j \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (3)$$

Denklem (1) - (3) arasında bulunan P_i ve Q_i , baranın aktif ve reaktif gücünü, V_i , V_j ve V_i^* ise i ve j baralarının gerilim değerini ve eşlenliğini gösterir. y_{ij} ise her iki bara arasında yer alan

admitanştır. Güç akışından elde edilen P_{pf} ve Q_{pf} aktif ve reaktif güç eşitlikleri ise Denklem (4)-(5)'te yer almaktadır:

$$P_{pf} = V_i \sum_{j=0}^{NB} V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_{pf} = V_i \sum_{j=0}^{NB} V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (5)$$

Burada, G_{ij} , B_{ij} ve δ_{ij} ifadeleri her iki bara arasındaki kondüktans, süseptans ve açı değeridir. Üretilen ve talep edilen güçler arasındaki ilişki Denklem (6)'da verilmiştir:

$$\begin{aligned} P_s &= P_g - P_d \\ Q_s &= Q_g - Q_d \end{aligned} \quad (6)$$

Newton-Raphson ile güç akışı analizinin sonucunda elde edilen gerilim, açı ve güç değerleri iterasyonlar sonucunda oluşturulan Jakobiyen matrisine göre belirlenir [15].

3. STATİK KONDENSER

Statik Kondenser (STATKON), tristörlerden oluşan üç fazlı bir evirici modeli olup, bir doğru akım depolama kapasitöründeki gerilimle beslenir. Çıkış gerilimleri ise, faz kaydırmalı bir transformatör aracılığıyla üretilir ve alternatif akım sistem gerilimleriyle aynı fazdadır. Eğer çıkış gerilimi alternatif akım sistem gerilimlerinden daha yüksekse, sistemde ileri yönde bir akım akışı meydana gelirken, tam tersi durumda ise akım akışı ters yönde gerçekleşir. Bu sayede, gerilim ile akım arasında genlik farkı kontrol edilir. Gerilim kontrolü sayesinde sistem tarafından sağlanan reaktif güç ve reaktif gücün yönü de belirlenir. STATKON'un bağlı olduğu barada gerilim kontrolü sağlanırken, ölçülen ve referans gerilim arasındaki fark kazanç vasıtasıyla zaman sabitine girer. Bunun çıkışında ise sınırlandırıcı kullanılarak bara geriliminin minimum ve maksimum değerleri ayarlanır. STATKON gerilim ifadesi Denklem 7'de gösterilmiştir [16].

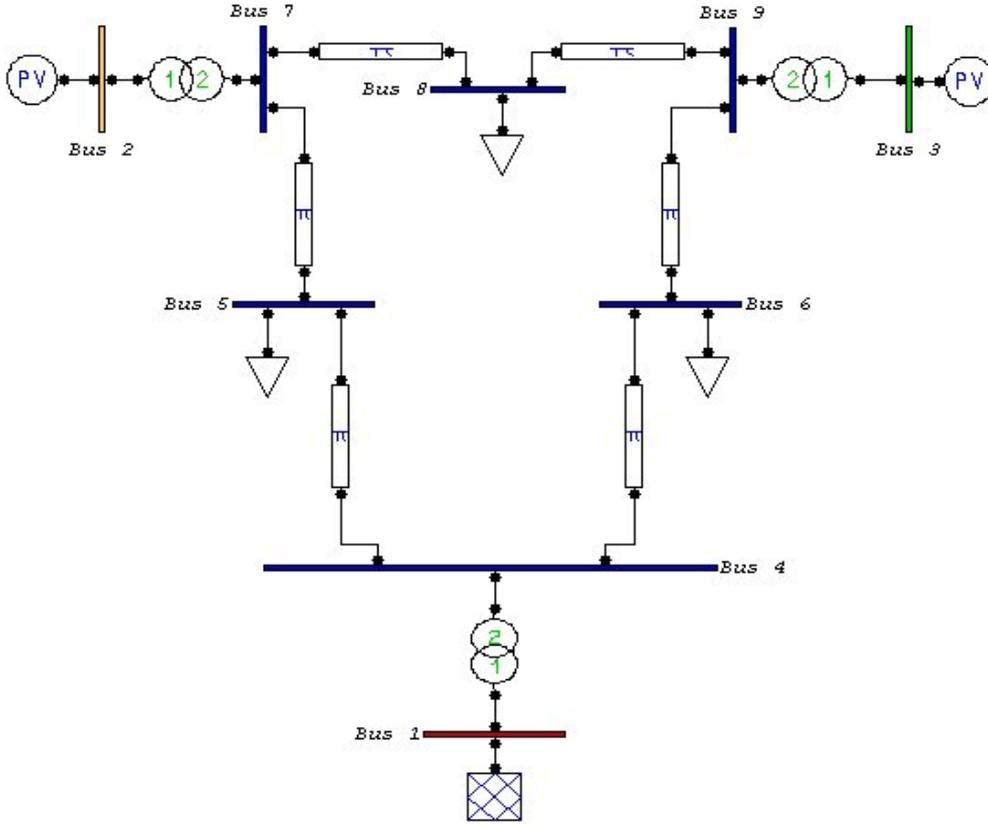
$$V_i = I_i \times X_p \quad (7)$$

Burada, V_i STATKON'un yer aldığı baranın gerilimi, I_i STATKON'dan geçen akım, X_p STATKON'un bağlandığı transformatör reaktansdır.

4. BENZETİM ÇALIŞMASI

Benzetim çalışmasında, PSAT aracılığıyla gerçekleştirilen analizler için 3 makineli 9 baralı güç sistemi kullanılmıştır ve bu test sistemi Görsel 1'de verilmiştir [17]. Test sisteminde 1. bara salınım barası, 2 ve 3. baralar generatör barası, kalan altı bara ise yük barasıdır. 2-7 numaralı bara, 3-9 numaralı bara ve 1-4 numaralı baralar arasında transformatörler yer almaktadır. Benzetim çalışmasında gerçekleştirilen analiz iki aşamadan oluşmakta olup, ilk aşamada sürekli yük akışı yapılmış ve STATKON kullanılmamıştır. İkinci analizde ise STATKON kullanılarak sürekli yük akışı gerçekleştirilmiş ve STATKON'un yeri belirlenirken ilk aşamada gerçekleştirilen güç akışında en düşük bara gerilim profiline sahip olan 5 numaralı bara tercih

edilmiştir. İlgili baraya bağlanan STATKON 100 MVA gücünde olup, 0.5 pu süseptans değerinde tercih edilmiştir.



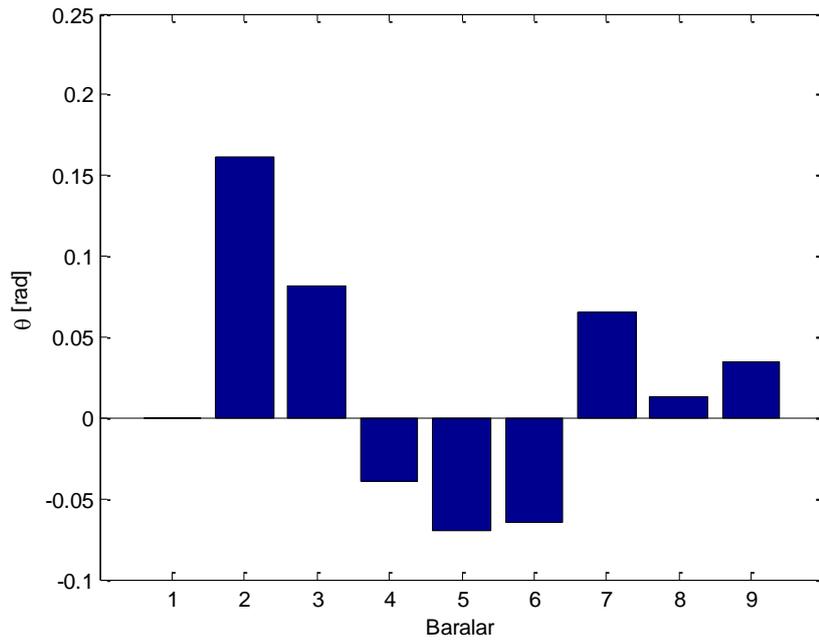
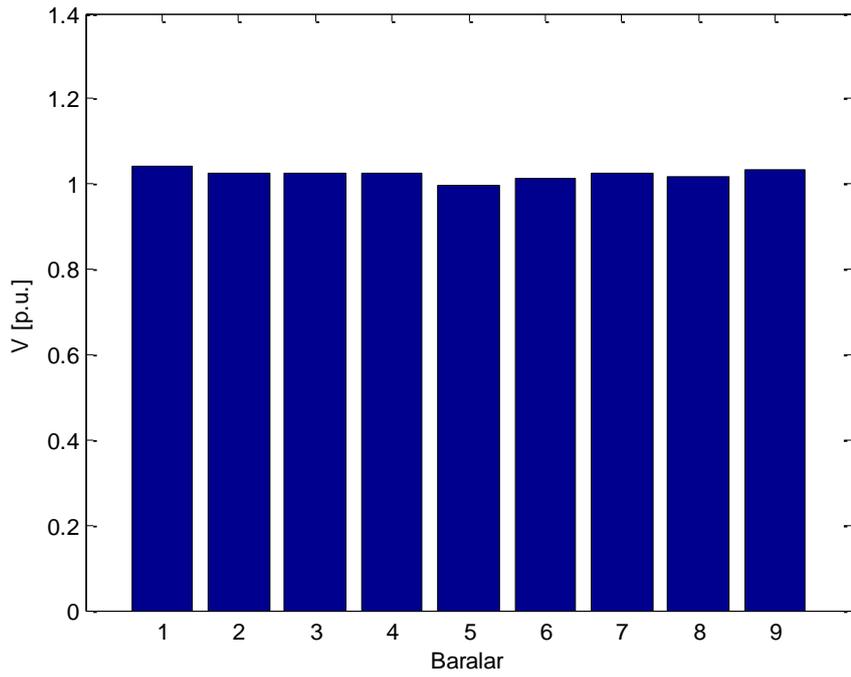
Görsel 1. 3 makineli 9 baralı güç sistemi

4.1. Benzetim Çalışması Sonuçları

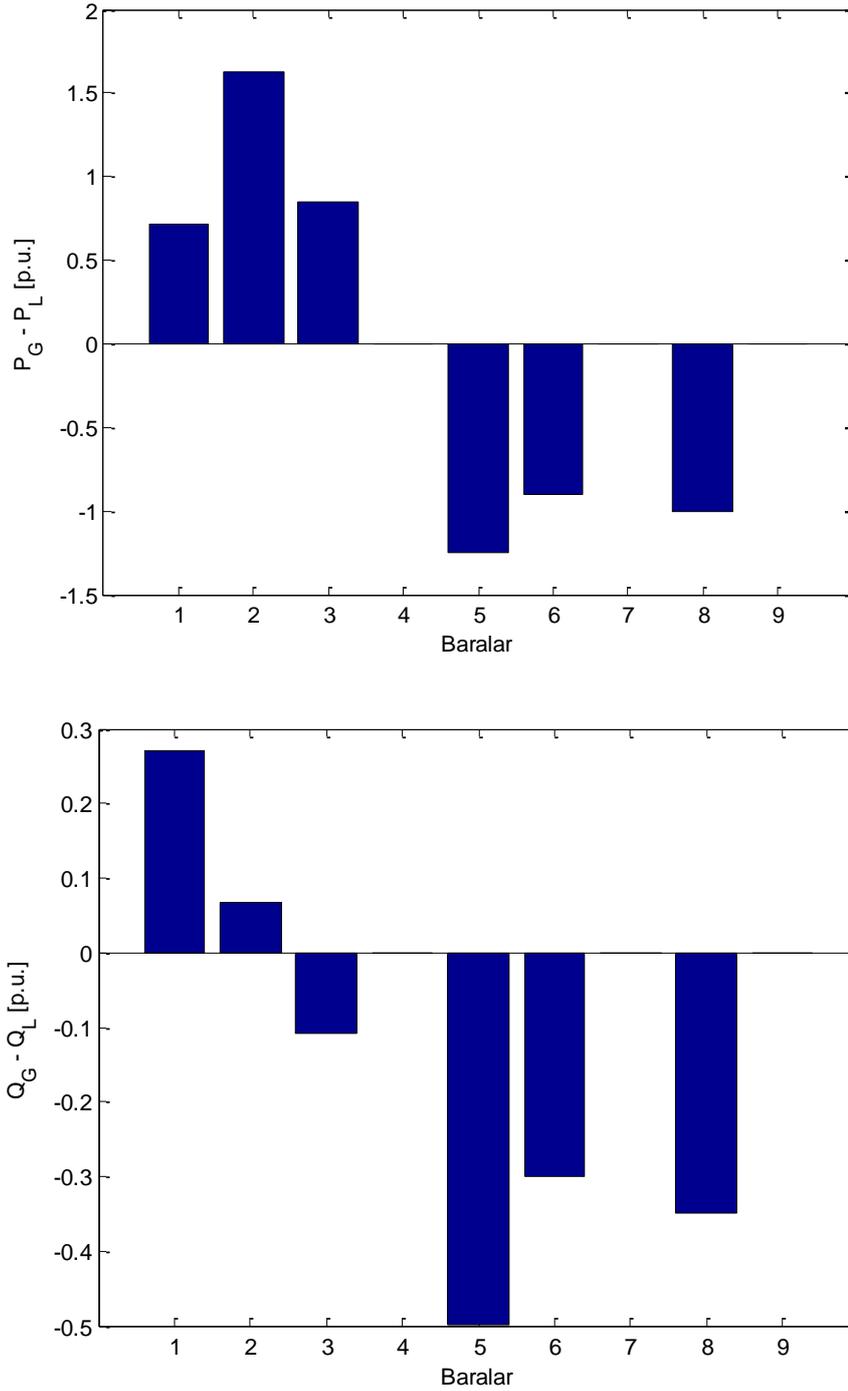
Benzetim çalışmasının ilk aşamasında STATKON'un bağlı olmadığı durum için güç akışı gerçekleştirilmiştir. Bu analiz neticesinde üretilen ve tüketilen toplam aktif-reaktif güç ve kayıplar Çizelge 1'de sunulmuştur. İlk analizde, STATKON'un bağlı olmadığı durum için aktif güç ve reaktif güç kayıpları sırasıyla **0.04641 p.u** ve **-0.9216 p.u** olmuştur. Ayrıca STATKON'un bağlı olmadığı durum için elde edilen bara gerilim ve açı profilleri ile aktif-reaktif güç profilleri sırasıyla Görsel 2'de ve Görsel 3'te sunulmuştur.

Çizelge 1. STATKON Kullanılmadığında Aktif ve Reaktif Güç Değerleri.

| | Üretilen Güç | Tüketilen Güç | Toplam Kayıp Güç |
|--------------------|--------------|---------------|------------------|
| Aktif Güç [p.u.] | 3.1964 | 3.15 | 0.04641 |
| Reaktif Güç [p.u.] | 0.2284 | 1.15 | -0.9216 |



Görsel 2. STATKON Kullanılmadığında Bara Gerilim ve Açı Profilleri.



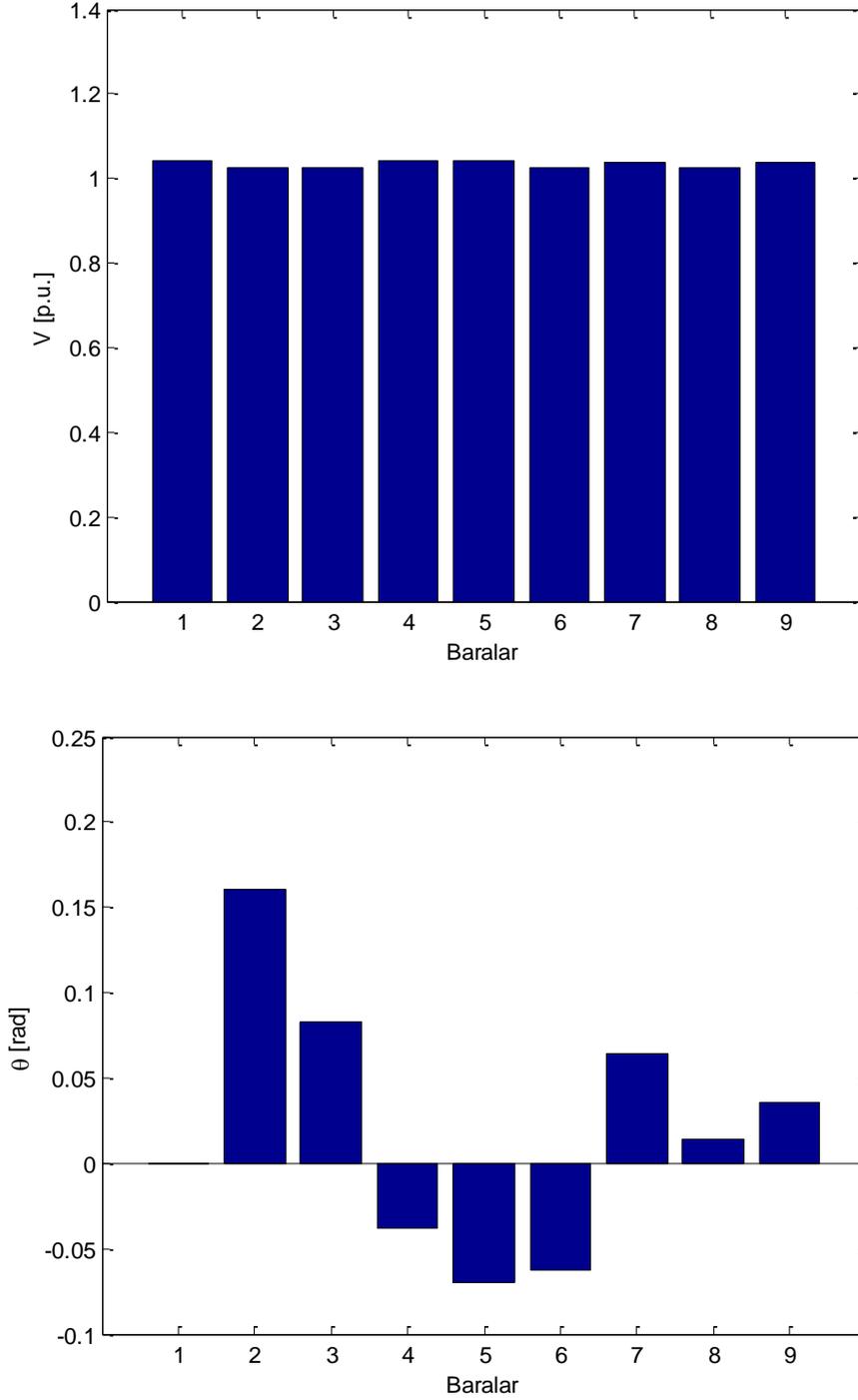
Görsel 3. STATKON Kullanılmadığında Aktif Güç ve Reaktif Güç Profilleri.

Benzetim çalışmasının ikinci aşamasında STATKON'un bağlı olduğu durum için güç akışı analizi gerçekleştirilmiştir. Görsel 2'de görüldüğü gibi sürekli yük akışında bara gerilim profilinin en düşük olduğu bara 5 numaralı baradır. Bu nedenle STATKON 5 numaralı baraya bağlanmıştır. STATKON'un bağlı olduğu analiz için üretilen ve tüketilen toplam aktif -reaktif güç ve kayıplar Çizelge 2'de sunulmuştur. İkinci analiz için, sistemde STATKON mevcut olduğu durumda aktif güç ve reaktif güç kayıpları sırasıyla **0.04518 p.u** ve **-0.98204 p.u** olarak

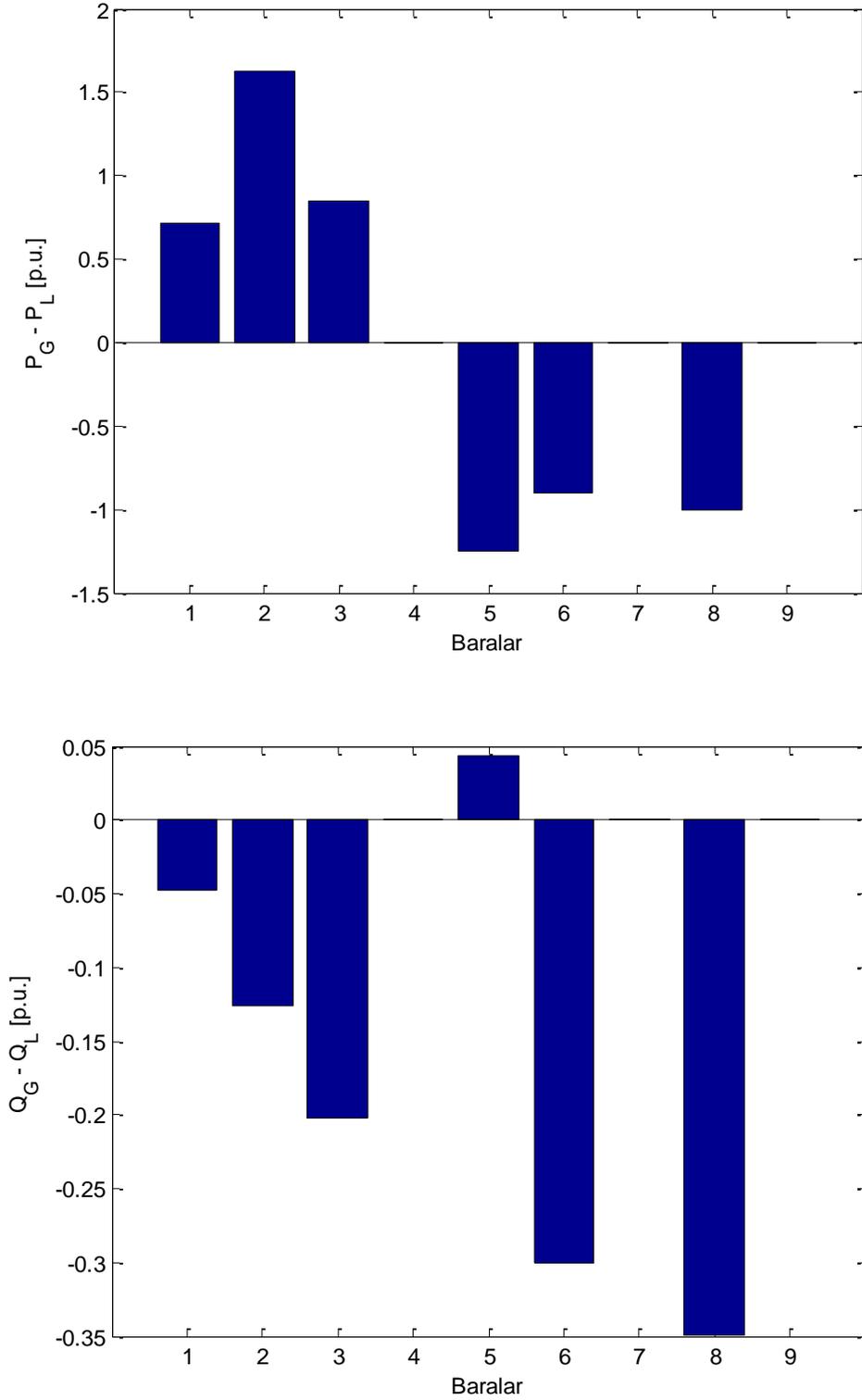
elde edilmiştir. Ayrıca STATKON'un 5 numaralı barada bağlı olduğu durum için bara gerilim ve açı profilleri Görsel 4'te ve aktif güç ile reaktif güç profilleri Görsel 5'te sunulmuştur.

Çizelge 2. STATKON Kullanıldığında Aktif ve Reaktif Güç Değerleri.

| | Üretilen Güç | Tüketilen Güç | Toplam Kayıp Güç |
|--------------------|--------------|---------------|------------------|
| Aktif Güç [p.u.] | 3.1952 | 3.15 | 0.04518 |
| Reaktif Güç [p.u.] | -0.37552 | 0.60652 | -0.98204 |



Görsel 4. STATKON Kullanıldığında Bara Gerilim ve Açı Profilleri.



Görsel 5. STATKON Kullanıldığında Aktif Güç ve Reaktif Güç Profilleri.

Buna göre, sistemde STATKON kullanıldığı durumda aktif ve reaktif güç kayıplarının azaldığı ve bara gerilim, açığı ve aktif güç ile reaktif güç profillerinde iyileşme durumu söz konusu olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3 makineli 9 baralı bir güç sistemi için Newton-Raphson yöntemi kullanılarak güç akışı analizi gerçekleştirilmiş ve Statik Kondenserin (STATKON) güç akışı ve kayıplara olan etkisi PSAT programı aracılığıyla test edilmiştir. Benzetim çalışmasının ilk aşamasında sistemde STATKON'un yer almadığı durum incelenirken, ikinci aşamada ise STATKON'un mevcut olduğu durum incelenmiştir. İlk aşamada gerçekleştirilen sürekli yük akışı sonucunda bara gerilim değerinin en düşük olduğu bara 5 numaralı bara olarak belirlenirken, ikinci aşamada mevcut baraya 100 MVA gücünde ve 0.5 pu süseptans değerinde STATKON bağlanarak aktif güç ve reaktif güç kayıpları her iki durum için de karşılaştırılmıştır. Sisteme STATKON bağlanmasıyla birlikte aktif-reaktif güç kayıplarında azalma gözlenirken, bara gerilim, açı ve aktif-reaktif güç profillerinde de iyileşme durumu söz konusu olmuştur. Yapılan bu çalışmadaki asıl amaç ise, farklı güç sistemlerine FACTS cihazları ve çeşitli denetleyici yapıları dahil edildiğinde gerçekleştirilebilecek güç sistemleri problemlerinin çözümlerine zemin hazırlamaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Mouassa, S., Alateeq, A., Alassaf, A., Bayindir, R., Alsaleh, I., & Jurado, F. (2024). Optimal power flow analysis with renewable energy resource uncertainty using dwarf mongoose optimizer: Case of ADRAR isolated electrical network. *IEEE Access*, 12, 10202-10218.
- [2] Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. *Power system analysis & design, SI version*. Cengage Learning, Boston, 2012.
- [3] Tinney, W. F., & Hart, C. E. (1967). Power flow solution by Newton's method. *IEEE Transactions on Power Apparatus and systems*, (11), 1449-1460.
- [4] Teng, J. H. A modified Gauss-Seidel algorithm of three-phase power flow analysis in distribution networks. *International journal of electrical power & energy systems*, 24, 2, 97-102, 2002.
- [5] Stott, B., & Alsac, O. (2007). Fast decoupled load flow. *IEEE transactions on power apparatus and systems*, (3), 859-869.
- [6] Stott, B. (2005). Review of load-flow calculation methods. *Proceedings of the IEEE*, 62(7), 916-929.
- [7] Baran, M. E., Wu, F., Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system, *IEEE Trans. Power Delivery*, 4, 1, 735-743, 1989.
- [8] Le Nguyen H., Newton-Raphson method in complex form, *IEEE Trans. Power Syst.*, 12, 3, 1355-1359, 1997.

- [9] Teng, J. H., Chang, C. Y., A novel and fast three-phase load flow for unbalanced radial distribution systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 17, 4, 1238-1244, 2002.
- [10] Garcia, P. A., Pereira, J. L. R., Carneiro, S., Da Costa, V. M., Martins, N. Three-phase power flow calculations using the current injection method. *IEEE Transactions on power systems*, 15, 2, 508-514, 2000.
- [11] Sereeter, B., Vuik, C., & Witteveen, C. (2019). On a comparison of Newton–Raphson solvers for power flow problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 360, 157-169.
- [12] Seng, C. K., Tien, T. L., Nanda, J., Masri, S. Load flow analysis using improved Newton-Raphson method. *Applied Mechanics and Materials* 793, 494-499, 2015.
- [13] Samburi, N., & Nor, A. F. M. A Comparative Study of Gauss-Seidel and Newton-Raphson Methods in Power Flow Analysis. *Multidisciplinary Applied Research and Innovation*, 6(2), 89-95, 2025.
- [14] Afolabi, O. A., Ali, W. H., Cofie, P., Fuller, J., Obiomon, P., Kolawole, E. S. Analysis of the load flow problem in power system planning studies. *Energy and Power Engineering*, 7, 10, 509, 2015.
- [15] Saadat, H., *Power system analysis*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [16] Haijun, L., & Wenying, H. (1994, December). Preventing of transient voltage instability due to induction motor loads by static condenser. In *Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Industrial Technology-ICIT'94* (pp. 827-831). IEEE.
- [17] Milano, F. (2005). An open source power system analysis toolbox. *IEEE Transactions on Power systems*, 20(3), 1199-1206.

DİNAMİK UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI MANTA VATOZLARININ BESLENME OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI İLE EKONOMİK YÜK DAĞITIMI PROBLEMİNİN ÇÖZÜLMESİ

SOLVING THE ECONOMIC LOAD DISPATCH PROBLEM WITH A DYNAMIC
FITNESS DISTANCE BALANCE BASED MANTA RAY FORAGING OPTIMIZATION
ALGORITHM

Öğr. Gör., Muhammet DEMİRBAŞ

Kastamonu Üniversitesi, muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-5223-1279

Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi, kenandosoglu@duzce.edu.tr - 0000-0001-8804-7070

Dr. Öğr. Üyesi., Enes KAYMAZ

Düzce Üniversitesi, eneskaymaz@duzce.edu.tr - 0000-0002-4774-0773

ÖZET

Bu çalışma, Vana Noktası Etkisi (VPE), Yasaklı Çalışma Bölgeleri (POZ) ve Rampa Oranı (RR) limitleri gibi karmaşık ve doğrusal olmayan kısıtları içeren Ekonomik Yük Dağıtımı (EYD) probleminin çözümünü ele almaktadır. Problem, Dinamik Uygunluk Mesafe Dengesi (dFDB) tabanlı Manta Vatozu Beslenme Optimizasyonu (dFDB-MRFO) adı verilen metasezgisel optimizasyon algoritması ile çözülmüştür. Önerilen algoritma, standart Manta Vatozu Beslenme Optimizasyonu'nun (MRFO) erken yakınsama sorununu, keşif ve sömürü dengesini dinamik olarak ayarlayan dFDB mekanizmasıyla iyileştirerek yerel optimumlardan kaçınma yeteneğini artırmaktadır. Algoritmanın performansı, 15 ve 40 generatörlü iki standart test sistemi üzerinde denenmiştir. 15 generatörlü sistem için en düşük yakıt maliyeti 32666,1376 \$/s bulunurken, 40 generatörlü sistem için bu değer 121408,5258 \$/s olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar literatürdeki diğer modern algoritmalarla karşılaştırıldığında, dFDB-MRFO'nun her iki test sisteminde de daha üstün bir performans sergilediği görülmüştür. Bulgular, dFDB-MRFO algoritmasının karmaşık ve büyük ölçekli EYD problemlerinin çözümü için oldukça verimli ve sağlam bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekonomik Yük Dağıtımı, Dinamik Uygunluk Mesafe Dengesi, Manta Vatozu Beslenme Optimizasyonu

ABSTRACT

This study addresses the Economic Load Dispatch (ELD) problem, incorporating complex and non-linear constraints such as the Valve Point Effect (VPE), Prohibited Operating Zones (POZs), and Ramp Rate (RR) limits. The problem is solved using a metaheuristic optimization algorithm called Dynamic Fitness Distance Balance based Manta Ray Foraging Optimization (dFDB-MRFO). The proposed algorithm enhances its ability to escape local optima by addressing the premature convergence issue of the standard Manta Ray Foraging Optimization

(MRFO) through the dFDB mechanism, which dynamically adjusts the balance between exploration and exploitation. The algorithm's performance was tested on two standard 15- and 40-generator test systems. The lowest fuel cost for the 15-generator system was found to be 32,666.1376 \$/h, while for the 40-generator system, this value was obtained as 121,408.5258 \$/h. When compared with other modern algorithms in the literature, these results demonstrate that dFDB-MRFO exhibits superior performance on both test systems. The findings indicate that the dFDB-MRFO algorithm is a highly efficient and robust method for solving complex and large-scale ELD problems.

Keywords: Economic Load Dispatch, Dynamic Fitness Distance Balance, Manta Ray Foraging Optimization

1. GİRİŞ

Sanayideki büyüme, artan nüfus ve yeni teknolojilerin entegrasyonu gibi faktörler, enerjiye olan talebi sürekli olarak artırmaktadır. Elektrik enerjisi talebinde meydana gelen artış, enerji kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesini zorunlu kılmıştır. Günümüzde enerji santrallerinin büyük bir kısmı, talebi karşılamak için fosil yakıtlara bağımlıdır. Bu durum, çevre kirliliğine yol açarak önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle, araştırmacılar, çevreye en az zararı verirken uygun maliyette elektrik üretmenin yollarını aramaktadır. Enerji planlaması alanında çalışılan en temel problemlerden biri, Ekonomik Yük Dağıtım (EYD) problemidir. EYD, toplam elektrik talebini karşılarken, üretim birimlerine tahsis edilen gücün dağıtımını optimal ve ekonomik olarak en verimli şekilde yapmayı amaçlamaktadır. Nihai hedef, mevcut talep gücü karşılamak için kullanılan üretim kaynaklarının yakıt maliyetini sistem talebi ve çeşitli operasyonel kısıtları sağlayacak şekilde en aza indirmektir [1].

İlk modellerde, maliyet fonksiyonları genellikle düzgün artan bir eğri varsayılarak kuadratik veya parçalı kuadratik olarak seçilmekteydi. Ancak günümüzdeki kanıtlar, gerçek sistemlerin çok daha karmaşık olduğunu göstermektedir [2]. Bu karmaşıklığı yaratan en önemli kısıtlardan biri Vana Noktası Etkisi (VPE)'dir. Fosil yakıtlı santrallerdeki buhar vanalarının fiziksel özelliklerinden kaynaklanan bu etki, maliyet eğrilerinin dalgalı bir yapıya sahip olmasına neden olur. Sonuç olarak, maliyet fonksiyonları pürüzsüz ve dışbükey olmayan bir hal alır ve bu da optimizasyon sürecini oldukça zorlaştırır. Problemi daha da karmaşık hale getiren bir diğer önemli kısıt ise Yasaklı Çalışma Bölgeleri (POZs)'dir. Generatörlerin ekipmanlarındaki kararsızlıklar veya fiziksel sorunlar nedeniyle çalıştırılmaması gereken güç çıkış aralıklarını ifade eden bu bölgeler, çözüm uzayında süreksizliklere yol açar [3]. Son olarak, bir generatörün güç çıkışını ne kadar hızlı artırabileceğini veya azaltabileceğini sınırlayan Rampa Oranı (RR) limitleri, hem ekipman sağlığını korumak hem de sistem kararlılığını sağlamak için kritik bir rol oynar. Bahsedilen tüm bu kısıtlar, EYD problemini çözülmesi gereken karmaşık, doğrusal olmayan ve dışbükey olmayan bir optimizasyon problemine dönüştürmektedir [3].

Literatürde EYD problemini çözmek için klasik yöntemler ve meta-sezgisel yaklaşımlar dahil olmak üzere çeşitli yenilikçi metotlar önerilmiştir. Tamsayı programlama [4], karmaşık tamsayı doğrusal programlama [5], doğrusal programlama [6], doğrusal olmayan programlama [7] ve dinamik programlama [8] gibi klasik yöntemler, maliyet fonksiyonlarının pürüzsüz, dışbükey ve türevlenebilir olduğu durumlarda iyi sonuçlar vermektedir. Ancak VPE,

POZ ve RR limitleri gibi karmaşık kısıtları içeren gerçek dünya senaryolarında, bu yöntemler problemin doğrusal olmayan, dışbükey olmayan ve pürüzsüz olmayan doğası nedeniyle zorlanmaktadır. Özellikle büyük ölçekli sistemlerde, eşitsizlik kısıtlarını ele alırken erken yakınsama ve esneklik kısıtlılığı gibi zorluklar ortaya çıkmakta ve bu yöntemler sıklıkla başarısız olmaktadır [2].

Klasik yöntemlerin bu sınırlılıklarının üstesinden gelmek amacıyla, günümüzün karmaşık EYD problemleri için daha güvenilir ve esnek çözümler sunan meta-sezgisel optimizasyon algoritmaları ortaya çıkmıştır. Son on yılda, araştırmacılar tarafından Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [9], Diferansiyel Evrim (DE) [10] ve Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) [11] gibi birçok metasezgisel optimizasyon algoritması EYD problemlerini çözmek için başarıyla uygulanmıştır. Bununla birlikte, standart metasezgisel optimizasyon algoritmaları dahi erken yakınsama veya keşif-sömürü dengesizliği gibi sorunlar yaşayabildiğinden, bu algoritmaların performansını artırmak için sürekli olarak değiştirilmiş ve iyileştirilmiş versiyonları geliştirilmiştir. Algoritmaların performansını iyileştirmek için geliştirilmiş yaklaşımlardan biri olan ve literatürde önemli bir yer edinen Uygunluk-Mesafe Dengesi (FDB) metodu [12], çözüm adaylarını hem uygunluk değerlerine hem de en iyi çözüme olan mesafelerine göre değerlendirir. Ancak bunu sabit bir ağırlık katsayısı kullanarak yapar. Sabit ağırlık katsayısının getirdiği sınırlılıkları aşmak için Dinamik FDB (dFDB) [13] ve Bulanık Mantık Tabanlı FDB (FFDB) [14] gibi gelişmiş versiyonları önerilmiştir. dFDB ve FFDB metodları, Manta Vatozu Yemleme Optimizasyonu (MRFO) gibi temel algoritmalara entegre edilerek, bu algoritmaların yerel optimumlardan kaçınma yeteneğini artırmıştır [13,14]. Bu dinamik ve uyarlanabilir seçim mekanizmaları ile geliştirilen algoritmalar, optimal güç akışı, denetleyici parametrelerinin belirlenmesi, kombine ısı ve güç ekonomik dağıtım problemlerinin optimum çözümü gibi zorlu mühendislik problemlerinin çözümünde üstün başarılar sergilemiştir [15-17].

Bu çalışmanın literatüre katkısı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 15 generatörlü ve 40 generatörlü test sistemleri için EYD problemi çözümü yapılmıştır.
- Literatürde standart metasezgisel optimizasyon algoritmalarının erken yakınsama ve keşif-sömürü dengesizliği problemlerini çözmek için geliştirilen yöntemler kullanılarak iyileştirilen birçok metasezgisel optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmaların mühendislik problemlerindeki başarısının test edilmesi gerekmektedir. dFDB-MRFO algoritmasının EYD problemindeki başarısı ilk kez bu çalışmada değerlendirilmiştir.
- dFDB-MRFO algoritmasının performansı literatürde daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma aşağıdaki bölümlere göre düzenlenmiş ve sunulmuştur.

- Bölüm 2, EYD probleminin ve dFDB-MRFO algoritmasının matematiksel tanımını içermektedir.
- Bölüm 3, 15 generatörlü ve 40 generatörlü test sistemleri için EYD probleminin çözümünü içermektedir.
- Bölüm 4, Bölüm 3'te elde edilen sonuçlarının değerlendirilmesini içermektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Ekonomik Yük Dağıtım (EYD)

Ekonomik Yük Dağıtımını problemi güç sisteminin planlanmasında oldukça kritik bir konu olarak değerlendirilir. Problemin amacı fosil yakıtlı üretim birimlerinin toplam yakıt maliyetini en aza indirirken belirlenen eşitlik ve eşitizlik kısıtlamalarının da dışına çıkmamaktır. VPE, RR sınırı ve POZ'ların dahil edilmesiyle oldukça karmaşıklaşan EYD probleminin matematiksel modeli bu bölümde açıklanmıştır. Fosil yakıt içeren üretim birimlerinde yakıt maliyetinin ikinci dereceden bir fonksiyon olarak modellenmesiyle oluşturulan EYD probleminin matematiksel ifadesi Denklem 1'de verilmiştir [18]

$$\min \sum_{k=1}^{NG} F_{th}(P_k) = \sum_{k=1}^{NG} (a_k + b_k P_k + c_k P_k^2) \quad (1)$$

Burada; F_{th} , termik üretim birimlerinin üretim maliyetinin saat başına dolar cinsinden değeri, a_k , b_k ve c_k k'inci üretim biriminin yakıt maliyet katsayıları, NG , toplam üretim birimi sayısı, P_k , k'inci üretim birimi tarafından üretilen aktif güç değeridir. Generatörün VPE'sini temsil eden bir sinüs fonksiyonunun eklenmesiyle üretim maliyeti Denklem 2'de verilen forma dönüştürülmüş olur [19].

$$\min \sum_{k=1}^{NG} F_{th}(P_k) = \sum_{k=1}^{NG} \left(a_k + b_k P_k + c_k P_k^2 + \left| d_k \times \left(\sin \left(e_k \times (P_k^{\min} - P_k) \right) \right) \right| \right) \quad (2)$$

Burada; d_k ve e_k , k'inci generatörün VPE maliyet katsayılarını, P_k^{\min} k'inci generatörün üretmesi gereken en düşük aktif güç değerini ifade etmektedir.

2.1.1. EYD Problemi Kısıtları

EYD probleminde generatörlerden üretilen aktif güç değerinin, güç sisteminde talep edilen gücün ve güç kayıplarının toplamını karşılayacak şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Problemde belirlenen güç dengesi kısıtı Denklem 3'te, İletim hattı kayıplarını hesaplamak için Kroon kayıp formülü ile oluşturulan model Denklem 4'te verilmiştir [18, 20].

$$\sum_{k=1}^{NG} P_k - (P_D + P_L) = 0 \quad (3)$$

$$P_L = \sum_{m=1}^{NG} \sum_{n=1}^{NG} P_m B_{mn} P_n + \sum_{m=1}^{NG} B_{0m} P_m + B_{00} \quad (4)$$

Burada; P_D , güç sisteminde talep edilen aktif güç değerini ve P_L , iletim hattı kayıplarını ifade etmektedir. Üretim birimlerinin alt ve üst üretim sınırlarının kontrol edildiği eşitsizlik kısıtı Denklem 5'te verilmiştir [18]. P_k , P_k^{\min} ve P_k^{\max} sırasıyla mevcut, en düşük ve en yüksek üretim değerini ifade etmektedir.

$$P_k^{\min} \leq P_k \leq P_k^{\max} \quad (5)$$

Generatörlerin çıkış güçlerinin iki ardışık periyot arasında çok fazla değişmesine izin verilmediği durumlarda kullanılan RR sınırları Denklem 6'da verilmiştir [21]. Mevcut çalışma sınırı P_k , önceki aktif güç çıkışı P_k^0 , k'inci generatörün aktif güç çıkışının yukarı rampa sınırı UR_k ve aşağı rampa sınırı DR_k ile ifade edilir.

$$\max\left(P_k^{\min}, P_k^0 - DR_k\right) \leq P_k \leq \min\left(P_k^{\max}, P_k^0 + UR_k\right) \quad (6)$$

Generatörlerin kullanılmaması gereken aktif güç çıkış değerleri Denklem 7'de verilen POZ kısıtı ile kontrol edilir. Yasaklı çalışma bölgelerinin alt ve üst sınırları sırasıyla P_k^l ve P_k^u ile ifade edilir [21].

$$P_k \in \begin{cases} P_k^{\min} \leq P_k \leq P_{k,1}^l \\ P_{k,1}^u \leq P_k \leq P_{k,2}^l \\ \vdots \\ P_{k,NPZ}^u \leq P_k \leq P_k^{\max} \end{cases} \quad (7)$$

2.2. Dinamik Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı Manta Vatozlarının Beslenme Optimizasyonu Algoritması

Manta Vatozlarının Beslenme Optimizasyonu Algoritması (MRFO), doğadaki manta vatozlarının akıllı avlanma davranışlarından ilham alan, popülasyon tabanlı bir meta-sezgisel optimizasyon algoritmasıdır [22]. Algoritmanın temel arama mekanizması, manta vatozlarının üç özgün avlanma stratejisine dayanır. Bunlar; zincirle avlanma, siklonik avlanma ve takla atarak avlanma stratejileridir. Bu stratejiler, algoritmanın arama uzayını hem sömürmesini hem de yeni bölgeler keşfetmesini sağlayan mekanizmalar sunar. Özellikle zincirle avlanma ve takla atarak avlanma, bulunan en iyi çözüm etrafında yoğun bir arama yaparak sömürü yeteneğini güçlendirirken, siklonik avlanma ise hem keşif hem de sömürü arasında bir denge kurar. Ancak standart MRFO algoritması, özellikle en iyi çözüme aşırı odaklanan zincirle avlanma stratejisi nedeniyle, erken yakınsama problemine yatkındır. Bu durum, algoritmanın potansiyel olarak daha iyi çözümler barındıran farklı bölgeleri yeterince keşfedemeden, yerel bir optimuma takılıp kalmasına neden olabilmektedir. Bu zayıflığı gidermek amacıyla, Kahraman ve ark. tarafından geliştirilen dFDB-MRFO algoritması [13], MRFO'nun arama mekanizmasını Dinamik Uygunluk-Mesafe Dengesi (dFDB) adı verilen gelişmiş bir seçim yöntemiyle iyileştirir. dFDB, bir çözüm adayını seçerken sadece ne kadar iyi olduğuna değil, aynı zamanda mevcut en iyi çözümden ne kadar farklı olduğuna da bakar. Bu yöntemin dinamik olmasının temel nedeni, keşif ve sömürü arasındaki dengenin arama süreci boyunca akıllıca ayarlanmasıdır. Algoritma, arama sürecinin başlarında mesafeye öncelik verirken, sonlarına doğru uygunluğa odaklanır. dFDB-MRFO, standart MRFO'daki en iyi çözümü körü körüne takip etmek yerine, rehber olarak dFDB tarafından dinamik olarak seçilen aday kullanır. dFDB-MRFO algoritmasının sözde kodu Algoritma 1 ile verilmiştir.

| | |
|--|---|
| Algoritma 1. dFDB-MRFO algoritmasının sözde kodu. | |
| 1. | Başla |
| 2. | P= Başlangıç popülasyonunun rastgele oluşturulması F= Başlangıç popülasyonu kullanılarak uygunluk değerlerinin bulunması |
| 3. | while (arama uzayı yaşam döngüsü: maxFE) { |
| 4. | for i=1:N |
| 5. | if (rand<0.5) // siklonik avlanma arama stratejisi |
| 6. | if (t/T _{max} <rand) |
| 7. | $x_{rand} = x_l + rand(x_u - x_l)$ |
| 8. | $x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_{rand}^d + r.(x_{rand}^d - x_i^d(t)) + \beta.(x_{rand}^d - x_i^d(t)), i = 1 \\ x_{rand}^d + r.(x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \beta.(x_{rand}^d - x_i^d(t)), i = 2, \dots, N \end{cases}$ |
| 9. | else |
| 10. | $x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_{best}^d + r.(x_{best}^d - x_i^d(t)) + \beta.(x_{best}^d - x_i^d(t)), i = 1 \\ x_{best}^d + r.(x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \beta.(x_{best}^d - x_i^d(t)), i = 2, \dots, N \end{cases}$ |
| 11. | end if |
| 12. | else // zincir arama avlanma stratejisi |
| 13. | $x_i^d(t+1) = \begin{cases} x_i^d + r.(x_{best}^d - x_i^d(t)) + \beta.(x_{dFDB}^d - x_i^d(t)), i = 1 \\ x_i^d + r.(x_{i-1}^d(t) - x_i^d(t)) + \beta.(x_{dFDB}^d - x_i^d(t)), i = 2, \dots, N \end{cases}$ |
| 14. | end if |
| 15. | // Güncelleme süreci if (uygunlukları kıyasla, $x_i(t+1) > x_i(t)$ ise $x_i(t) = x_i(t+1)$) if (uygunlukları kıyasla, $x_i(t) > x_{best}(t)$ ise $x_{best}(t) = x_i(t)$) |
| 16. | end if end for |
| 17. | // Takla atarak avlanma stratejisi |
| 18. | for i=1:N |
| 19. | $x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + S.(r_2.x_{best} - r_3.x_i(t))$ |
| 20. | // Güncelleme süreci (15. Satırda verildiği gibi) |
| 21. | end for |
| 22. | end while |

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Güç sistemlerinin ekonomik bir şekilde planlanması ve işletilmesi problemlerinden biri olan EYD probleminin çözümü dFDB-MRFO algoritması ile yapılmıştır. Algoritmanın performansını test etmek için 15 ve 40 generatör içeren iki farklı test sistemi kullanılmıştır. Test sistemlerinin parametrelerine ilgili referanstan ulaşılabilir [23].

15 generatörlü test sistemi TL, RR ve POZ işletme kısıtlarını içerirken, 40 generatörlü test sistemi 8 valf noktası içermektedir. Popülasyon boyutu 50 olarak ayarlanan dFDB-MRFO algoritması ile her test sistemi için problem 1000 iterasyon sayısında, 30 döngü boyunca çözülmüştür. Elde edilen en düşük, ortalama, en büyük yakıt maliyetleri ile standart sapma değeri Çizelge 1’de verilmiştir.

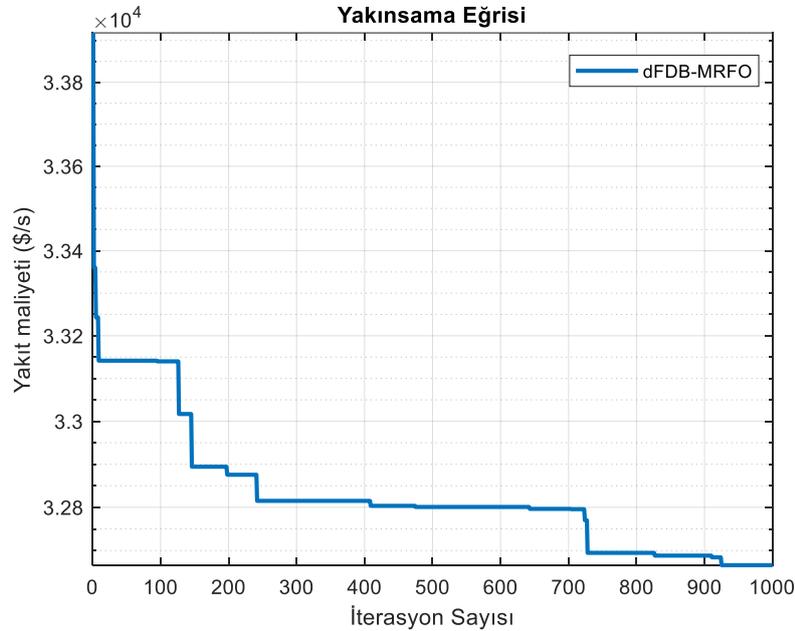
Çizelge 1. EYD probleminin çözümünde 30 döngü boyunca elde edilen yakıt maliyeti sonuçları

| Test sistemi | En düşük (\$/s) | Ortalama (\$/s) | En büyük (\$/s) | Standart sapma |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 15 generatörlü | 32666.1376 | 32743.4927 | 32825.4198 | 39.7369673 |
| 40 generatörlü | 121408.5258 | 121408.8666 | 121409.436 | 0.2109877245 |

15 generatörlü test sistemi için en düşük işletme maliyeti **32666,1376 \$/s** olarak 3. döngüde elde edilmiştir. En iyi döngüde her bir generatör için planlanan üretim değerleri, toplam güç çıkışı, iletim kayıpları ve işletme maliyeti Çizelge 2’de, algoritmanın yakınsama eğrisi Görsel 1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 15 generatörlü test sistemi için dFDB-MRFO algoritması ile EYD problemi sonuçları.

| Generatör | Güç çıkışı (MW) | Generatör | Güç çıkışı (MW) |
|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 393.3458 | 10 | 78.8406 |
| 2 | 404.1102 | 11 | 50.1163 |
| 3 | 121.0592 | 12 | 74.4319 |
| 4 | 122.8469 | 13 | 28.0086 |
| 5 | 346.2298 | 14 | 19.7093 |
| 6 | 448.0382 | 15 | 17.0737 |
| 7 | 463.1162 | Toplam güç çıkışı (MW) | |
| 8 | 66.4475 | İletim kayıpları (MW) | |
| 9 | 26.8764 | İşletme maliyeti (\$/s) | |
| | | | 32666.1376 |

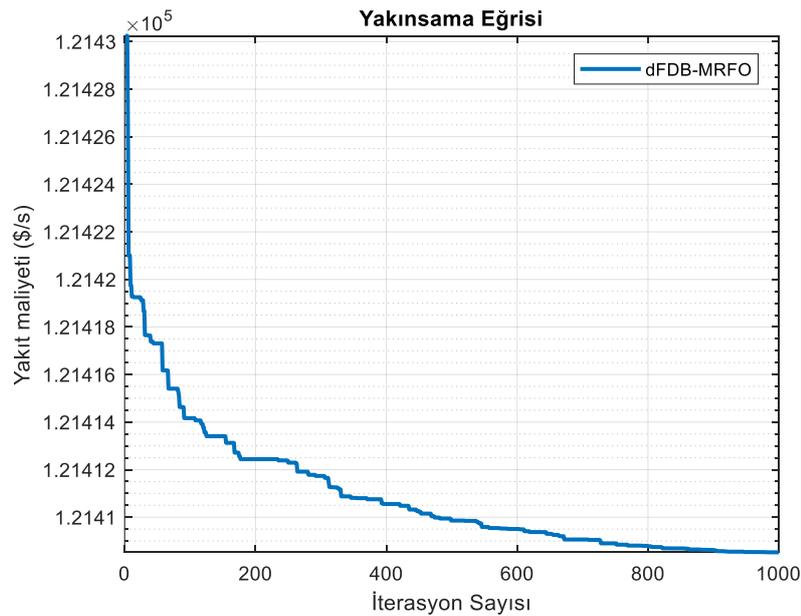


Görsel 1. dFDB-MRFO algoritması ile 15 generatörlü test sistemi için EYD problemi çözümünde elde edilen yakınsama eğrisi.

40 generatörlü test sistemi için en düşük işletme maliyeti **121408.5258 \$/s** olarak 6. döngüde elde edilmiştir. En iyi döngüde her bir generatör için planlanan üretim değerleri, toplam güç değeri ve işletme maliyeti Çizelge 3'te, algoritmanın yakınsama eğrisi Görsel 2'de verilmiştir.

Çizelge 3. 40 generatörlü test sistemi için dFDB-MRFO algoritması ile EYD problemi sonuçları.

| Generatör | Güç çıkışı (MW) | Generatör | Güç çıkışı (MW) |
|-----------|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 110.7985 | 21 | 523.2798 |
| 2 | 110.7918 | 22 | 523.2793 |
| 3 | 97.3984 | 23 | 523.2779 |
| 4 | 179.7333 | 24 | 523.2797 |
| 5 | 87.7945 | 25 | 523.2778 |
| 6 | 139.9968 | 26 | 523.2796 |
| 7 | 259.5990 | 27 | 10.1033 |
| 8 | 284.5976 | 28 | 10.1011 |
| 9 | 284.5988 | 29 | 10.1006 |
| 10 | 130.0012 | 30 | 87.7990 |
| 11 | 94.0023 | 31 | 189.9942 |
| 12 | 94.0042 | 32 | 189.9968 |
| 13 | 214.7483 | 33 | 189.9734 |
| 14 | 394.2791 | 34 | 164.7877 |
| 15 | 394.2746 | 35 | 194.3018 |
| 16 | 394.2744 | 36 | 199.9295 |
| 17 | 489.2786 | 37 | 109.9985 |
| 18 | 489.2765 | 38 | 109.9908 |
| 19 | 511.2759 | 39 | 109.9697 |
| 20 | 511.2787 | 40 | 511.2768 |
| | | Toplam güç çıkışı (MW) | 10500 |
| | | İşletme maliyeti (\$/s) | 121408.5258 |



Görsel 2. dFDB-MRFO algoritması ile 40 generatörlü test sistemi için EYD problemi çözümünde elde edilen yakınsama eğrisi.

Algoritmanın performansının değerlendirilebilmesi için literatürde daha önce metasezgisel optimizasyon algoritmaları ile elde edilen sonuçlarla Çizelge 4'te kıyaslanmıştır.

Çizelge 4. 15 ve 40 generatörlü test sistemleri için elde edilen sonuçların literatür ile kıyaslanması.

| 15 generatörlü test sistemi | | 40 generatörlü test sistemi | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Algoritma | İşletme maliyeti (\$/s) | Algoritma | İşletme maliyeti (\$/s) |
| dFDB_MRFO | 32666.1376 | dFDB-MRFO | 121408.5258 |
| ESSA [24] | 32701.2100 | IDE [25] | 121411.4900 |
| L-HMDE [23] | 32704.4500 | DEC-SQP [26] | 121741.9800 |
| BSA [27] | 32704.4500 | IPM [28] | 122264.8800 |
| SWT-PSO [29] | 32704.4500 | FFDBSAO1 [30] | 124256.0655 |

Çizelge 4'te verilen sonuçlar incelendiğinde 15 generatörlü test sistemi için dFDB-MRFO algoritması ile ESSA [24] algoritmasına göre 35,0724 (\$/s), L-HMDE [23], BSA [27] ve SWT-PSO [29] algoritmalarına göre 38,3124 (\$/s) daha az işletme maliyeti elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar 40 generatörlü test sistemi için incelendiğinde ise dFDB-MRFO algoritması ile IDE [25] algoritmasına göre 2,9642 (\$/s), DEC-SQP [26] algoritmasına göre 333,4542 (\$/s), IPM [28] algoritmasına göre 856,3542 (\$/s) ve FFDBSAO1 [30] algoritmasına göre 2847,5397 (\$/s) daha az işletme maliyeti elde ettiği görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dFDB-MRFO algoritması ile 15 ve 40 generatörlü test sistemleri için Ekonomik Yük Dağıtım problemi için çözümleri yapılmıştır. Algoritma problemin çözümü için 30'ar kez çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dFDB-MRFO algoritması ile 15 generatörlü test sistemi için en yakın rakibinden 35,0724 (\$/s) daha az işletme maliyeti, 40 generatörlü test sistemi için ise en yakın rakibinden 2,9642 (\$/s) daha az işletme maliyeti elde edilmiştir. Bu sonuçlar dFDB-MRFO algoritmasının EYD probleminin çözümündeki başarısını göstermektedir. Ayrıca dFDB yöntemi ile geliştirilen bir algoritmanın literatürdeki rakiplerini geride bırakması dFDB yönteminin algoritmalara çözüm aday seçimi konusundaki katkısını göstermektedir. Bu durumun dFDB ve algoritmaların performanslarının iyileştirilmesi için kullanılan benzer seçim metodları ile gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Kunya, A.B., Abubakar, A.S., Yusuf, S.S. Review of economic dispatch in multi-area power system: State-of-the-art and future prospective, Electr. Power Syst. Res., April, 217, 109089, 2023.
- [2] Vaisakh, K., Reddy, A.S. MSFLA/GHS/SFLA-GHS/SDE algorithms for economic dispatch problem considering multiple fuels and valve point loadings, Appl. Soft Comput., November, 13,11, 2013.
- [3] Jeddi, B., Vahidinasab, V. A modified harmony search method for environmental/economic load dispatch of real-world power systems, Energy Convers. Manag., February, 78, 2014.

- [4] Garver, L.L. Power Generation Scheduling by Integer Programming—Development of Theory, *Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part III Power Appar. Syst.*, April, 81, 3, 1962.
- [5] Carrión, M., Arroyo, J.M. A computationally efficient mixed-integer linear formulation for the thermal unit commitment problem, *IEEE Trans. Power Syst.*, August, 21, 31, 2006.
- [6] Wood, A.J., Wollenberg, B.F., Sheblé, G.B. *Power Generation, Operation, and Control*, 3rd ed., Wiley, Hoboken, NJ, USA, 2013.
- [7] Sasson, A.M. Nonlinear programming solutions for load-flow, minimum-loss, and economic dispatching problems, *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, April, PAS-88, 4, 1969.
- [8] Lowery, P.G. Generating unit commitment by dynamic programming, *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, May, PAS-85, 5, 1966.
- [9] Park, J.B., Lee, K.S., Shin, J.R., Lee, K.Y. A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions, *IEEE Trans. Power Syst.*, February, 20, 1, 2005.
- [10] Noman, N., Iba, H. Differential evolution for economic load dispatch problems, *Electr. Power Syst. Res.*, August, 78, 8, 2008.
- [11] Sahoo, S., Dash, K.M., Prusty, R.C., Barisal, A.K. Comparative analysis of optimal load dispatch through evolutionary algorithms, *Ain Shams Eng. J.*, March, 6, 1, 2015.
- [12] Kahraman, H.T., Aras, S., Gedikli, E. Fitness-distance balance (FDB): A new selection method for meta-heuristic search algorithms, *Knowl.-Based Syst.*, February, 190, 105169, 2020.
- [13] Kahraman, H.T., Bakir, H., Duman, S., Kati, M., Aras, S., Guvenc, U. Dynamic FDB selection method and its application: modeling and optimizing of directional overcurrent relays coordination, *Appl. Intell.*, July, 52, 2022.
- [14] Ozkaya, B., Duman, S., Isen, E. Enhanced manta ray foraging optimization algorithm involving fuzzy-based fitness-distance balance method for estimation of unidentified parameters of PEMFC model, *Electrical Engineering*, December, 107, 2025.
- [15] Sonmez, Y., Duman, S., Kahraman, H.T., Kati, M., Aras, S., Guvenc, U. Fitness-distance balance based artificial ecosystem optimisation to solve transient stability constrained optimal power flow problem, *J. Exp. Theor. Artif. Intell.*, Jul, 36, 2022.
- [16] Bakir, H., Guvenc, U., Kahraman, H.T., Duman, S. Improved Lévy flight distribution algorithm with FDB-based guiding mechanism for AVR system optimal design, *Comput. Ind. Eng.*, June, 168, 108032, 2022.
- [17] Ozkaya, B., Duman, S., Kahraman, H.T., Guvenc, U. Optimal solution of the combined heat and power economic dispatch problem by adaptive fitness-distance balance based artificial rabbits optimization algorithm, *Expert Syst. Appl.*, March, 238, 122272, 2024.
- [18] Orero, S.O., Irving, M.R. Large scale unit commitment using a hybrid genetic algorithm, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, January, 19, 1, 1997.
- [19] Sinha, N., Chakrabati, R., Chattopadhyay, P.K. Evolutionary programming techniques for economic load dispatch, *IEEE Trans. Evol. Comput.*, February, 7, 1, 2003.
- [20] Su, C.T., Lin, C.T. New approach with a Hopfield modeling framework to economic dispatch, *IEEE Trans. Power Syst.*, May, 15, 2, 2000.
- [21] Gaing, Z.L. Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints, *IEEE Trans. Power Syst.*, August, 18, 3, 2003.
- [22] Zhao, W., Zhang, Z., Wang, L. Manta ray foraging optimization: An effective bio-inspired optimizer for engineering applications, *Eng. Appl. Artif. Intell.*, January, 87, 103300, 2020.
- [23] Visutarrom, T., Chiang, T.C. Economic dispatch using metaheuristics: Algorithms, problems, and solutions, *Appl. Soft Comput.*, January, 150, 110891, 2024.
- [24] Hosseinnzhad, V., Babaei, E. Economic load dispatch using θ -PSO, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, July, 49, 2013.

- [25] Zou, D., Li, S., Wang, G.G., Li, Z., Ouyang, H. An improved differential evolution algorithm for the economic load dispatch problems with or without valve-point effects, *Appl. Energy*, November, 181, 2016.
- [26] Coelho, L.S., Mariani, V.C. Combining of chaotic differential evolution and quadratic programming for economic dispatch optimization with valve-point effect, *IEEE Trans. Power Syst.*, May, 21, 2, 2006.
- [27] Modiri-Delshad, M., Kaboli, S.H.A., Taslimi-Renani, E., Rahim, N.A. Backtracking search algorithm for solving economic dispatch problems with valve-point effects and multiple fuel options, *Energy*, December, 116, 2016.
- [28] Abbas, G., Khan, I.A., Ashraf, N., Raza, M.T., Rashad, M., Muzzammel, R. On employing a constrained nonlinear optimizer to constrained economic dispatch problems, *Sustainability*, June, 15, 13, 2023.
- [29] Chalermchaiarbha, S., Ongsakul, W. Stochastic weight trade-off particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch, *Energy Convers. Manag.*, June, 70, 2013.
- [30] Demirbas, M., Duman, S., Ozkaya, B., Balci, Y., Ersoy, D., Döşoğlu, M.K., Kaymaz, E. Fuzzy-Based Fitness–Distance Balance Snow Ablation Optimizer Algorithm for Optimal Generation Planning in Power Systems, *Energies*, June, 18,12, 2025

TEKRAR KULLANILABİLİR DİJİTAL İKİZ ARACI

Ali Furkan ILKAZ

Ege Üniversitesi, alifurkanilkaz@gmail.com - 0000-0002-4342-2209

Doç. Dr. Rıza Cenk ERDUR

Ege Üniversitesi, cenk.erdur@ege.edu.tr - 0000-0001-6124-6352

ÖZET

Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel varlıkların sanal ortamda modellenmesi ve bu modellerin gerçek zamanlı verilerle sürekli güncellenmesi temeline dayanan bir yaklaşımdır. Bu teknoloji; üretimden sağlığa, havacılıktan akıllı şehir uygulamalarına kadar birçok alanda süreçlerin izlenmesi, analiz edilmesi, optimize edilmesi ve tahminlenmesi için kullanılmaktadır. Ancak literatürde yer alan mevcut dijital ikiz mimari ve uygulamaları genel olarak belirli sektörlerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş çalışmalardır. Bu durum farklı dijital ikiz uygulamalarının ortak bir çatı altında toplanması ihtiyacını doğurmaktadır.

Bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin sektör bağımsız bir yaklaşımla ele alınması hedeflenmiş ve farklı sektörlerde uygulanabilecek tekrar kullanılabilir bir dijital ikiz aracı geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi çeşitli alanlardaki dijital ikiz uygulamaları detaylı bir şekilde incelenmiş; her bir sektörün ihtiyaç duyduğu parametreler analiz edilmiştir. Yapılan literatür taraması ve analizler sonucunda sektörel ortak parametreler belirlenmiş ve belirlenen ortak parametreler kullanılarak tekrar kullanılabilir bir dijital ikiz aracı geliştirilmiştir.

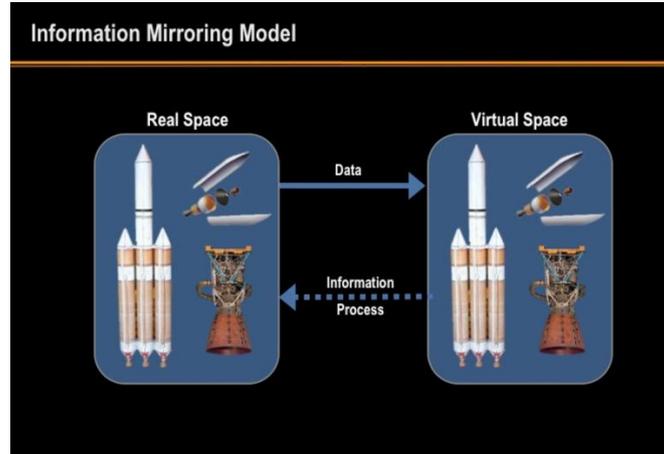
Sonuç olarak bu çalışma, dijital ikiz teknolojisinin sektörel sınırları dışında genel bir yapıya kavuşmasını sağlamayı ve dijital ikizlerin daha düşük maliyetlerle, hızlı ve verimli biçimde farklı sektörel alanlarda kullanılmasını mümkün kılmayı amaçlamaktadır. Geliştirilen tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, büyük veri ve yapay zeka uygulamalarıyla entegrasyona uygun altyapısıyla, gelecekteki dijital dönüşüm projeleri için önemli bir temel oluşturabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler : Dijital İkiz, Tekrar Kullanılabilirlik, Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti (IoT), Akıllı Şehirler

1. GİRİŞ

Dijital ikiz teknolojisi, fiziksel dünyada yer alan nesnelerin veya sistemlerin sanal bir temsilinin oluşturulması ve bu temsilin gerçek zamanlı verilerle devamlı olarak güncellenmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Bu teknoloji, fiziksel ve dijital ortam arasındaki sınırları ortadan kaldırarak, sistemlerin sanal ortamda modellenmesini, simüle edilmesini ve analiz edilmesini sağlar[1]. İlk olarak NASA tarafından 1970 yılında Apollo 13 uzay görevinde kullanılan bu yöntem, o dönemde doğrudan "dijital ikiz" olarak adlandırılmamış olsa da, fiziksel bir sistemin birebir kopyasının sanal ortamda oluşturulmasıyla bu teknolojinin temellerini oluşturmaktadır[2].

Dijital ikizler, fiziksel sistemlerin sanallaştırılması, veri akışıyla güncellenmesi ve sürekli olarak izlenmesi prensibine dayanır. Dijital ikiz teknolojisi temelinde fiziksel nesne, sanal model ve aralarındaki veri akışı olmak üzere üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu bağlamda Grieves tarafından önerilen Bilgi Yansıtma Modeli, dijital ikizlerin üç temel bileşenini açık bir biçimde tanımlar. Görsel 1’de gösterilen bu model, fiziksel ve sanal dünya arasındaki bilgi akışını merkezine alır ve dijital ikizlerin yapı taşlarını kavramsal olarak ortaya koyar.



Görsel 1. Bilgi Yansıtma Modeli [5]

Günümüzde dijital ikiz teknolojisi, Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT), yapay zeka ve büyük veri gibi ileri teknolojilerle birleşerek geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur[3]. Üretim, otomotiv, havacılık, sağlık, tarım ve akıllı şehirler gibi çok çeşitli sektörlerde süreçlerin gerçek zamanlı izlenmesi, performans iyileştirmesi, arıza tahmini, bakım planlaması ve stratejik karar verme mekanizmalarının geliştirilmesi gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Bu teknolojinin sunduğu avantajlar sayesinde şirketler verimliliklerini artırmalarının yanı sıra maliyetlerini düşürmekte ve rekabet güçlerini yükseltmektedirler.

Ancak mevcut dijital ikiz uygulamalarının çoğu, belirli sektör alanlarda kullanılan özelleştirilmiş çözümler sunmaktadır[4]. Bu durum, farklı sektörlerde ortak parametre ve altyapılar üzerinden çalışabilen, modüler, esnek ve tekrar kullanılabilir bir dijital ikiz aracının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Literatürde sektör özelinde geliştirilen modellerin sayısı fazla olsa da, sektörler arası kullanılabilirliği mümkün kılan, genel kullanıma uygun bir mimari ve uygulama aracı sınırlı sayıdadır. Bu eksiklik, dijital ikizlerin farklı disiplinlerde etkin ve verimli kullanılmasının önünde bir engel oluşturmaktadır.

Bu çalışma ile dijital ikiz teknolojisini sektörel sınırların ötesine taşıyarak farklı alanlarda kullanılabilir bir tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı geliştirmek amaçlanmaktadır. Bu kapsamda öncelikle üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi çeşitli sektörlerde kullanılan ve literatürde yer edinmiş dijital ikiz uygulamaları derinlemesine analiz edilmiştir. Yapılan literatür taraması ve analizler doğrultusunda sektörel ortak parametreler belirlenmiş ve bu parametreler temel alınarak farklı sektörlerde uyarlanabilir bir tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu araç; gerçek zamanlı veri takibi, sistem sağlık durumu analizi, bakım geçmişi yönetimi ve performans optimizasyonu gibi özellikleri sayesinde dijital dönüşüm projelerinde etkin bir çözüm sunmayı hedeflemektedir.

Bu bağlamda çalışma, sadece akademik literatüre katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda endüstriyel uygulamalar için de modüler, esnek ve sürdürülebilir bir çözüm altyapısı sunarak dijital ikiz teknolojisinin daha yaygın ve etkin bir biçimde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında geliştirilen tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı ile farklı sektörlerde kullanılabilecek ortak bir platform oluşturmak hedeflemektedir. Bu doğrultuda öncelikle üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi sektörlerde dijital ikiz uygulamalarının mevcut durumları incelenmiş ve sektörel ihtiyaçlar analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda sektörler arasında ortak olarak kullanılabilecek sekiz temel parametre belirlenmiştir. Bu parametreler kimlik bilgisi, çalışma durumu, konum bilgisi, yaşam döngüsü, gerçek zamanlı sensör verileri, sağlık durumu, bakım tarihi ve bağlantı durumu başlıkları ile ortalanmışlardır.

Geliştirilen araç üç ana bileşenden oluşmaktadır. Fiziksel varlık simülasyonu, C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiş ve farklı sektörlerdeki fiziksel varlıkların simülasyonunu gerçekleştirmek için esnek bir yapı sunmaktadır. Fiziksel varlıklar, belirlenen

parametreler doğrultusunda veri üretmekte ve bu veriler belirli aralıklarla sistemin diğer bileşenlerine aktarılmaktadır. Sunucu katmanı, Node.js teknolojisiyle geliştirilen bu katmanda RESTful API ve WebSocket protokolü kullanılarak gerçek zamanlı veri alışverişi sağlanmıştır. Fiziksel varlıklardan gelen veriler sunucu katmanında işlenmekte, kaydedilmekte ve anlık olarak istemcilere iletilmektedir. Kullanıcı arayüzü, React.js kullanılarak geliştirilen kullanıcı arayüzü, dijital ikizlerin durumlarının anlık olarak izlenmesini sağlamaktadır. Her bir fiziksel varlık için oluşturulan dijital ikizler, kullanıcı arayüzü aracılığıyla kullanıcıya sunulmakta; sensör verileri ve diğer parametreler anlık olarak güncellenmektedir.

Uygulamanın geliştirme sürecinde farklı sektör senaryoları simüle edilerek sistemin esnekliği ve sektörel uyumluluğu test edilmiştir. Üretim hattı makinesi, medikal cihaz, uçak motoru ve akıllı şehir altyapı bileşeni gibi çeşitli örnek senaryolar üzerinden araç performansı değerlendirilmiş ve tüm senaryolarda başarılı veri akışı ve analiz süreçleri sağlanmıştır.

Ayrıca sistem mimarisi, modüler yapısıyla yeni fiziksel varlıkların kolaylıkla entegre edilebileceği şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede ilerleyen süreçlerde farklı sektörlerle özgü parametrelerin sisteme eklenmesi ve araç kapsamının genişletilmesi mümkün hale gelmiştir.

2.1. Sektörel Parametrelerin Belirlenmesi

Dijital ikiz teknolojisinin farklı sektörlerde yaygın biçimde kullanılmasına rağmen, her sektörün kendine özgü ihtiyaçları ve süreçleri bulunmaktadır. Bu nedenle geliştirilen tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracının farklı sektörlerde uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla kapsamlı bir sektörel analiz yapılmıştır. Literatür taraması ve sektörel uygulamalar üzerinden yapılan bu analiz sonucunda tüm sektörlerde karşılığı olan ortak parametreler belirlenmiştir.

Belirlenen ortak parametreler şunlardır:

1. Kimlik ve Belirleyici Bilgiler: Her fiziksel varlığa ait benzersiz kimlik bilgisi.
2. Çalışma Durumu: Varlığın aktif, pasif, arızalı veya bakımda gibi operasyonel durumu.
3. Konum Bilgisi: Fiziksel varlığın bulunduğu konumun coğrafi ya da sistem içi koordinatları.
4. Yaşam Döngüsü: Varlığın kullanım süresi, aşamaları ve yenilenme ihtiyacı.
5. Gerçek Zamanlı Sensör Verileri: Sıcaklık, basınç, titreşim gibi anlık ölçüm verileri.

6. Sağlık Durumu: Sistem veya cihazın genel işlevselliği ve performans göstergeleri.
7. Bakım Tarihi: Son bakımın veya güncellenmenin tarihi ve bakım geçmişi.
8. Bağlantı Durumu: Fiziksel varlığın sistemle olan bağlantı ve veri aktarım durumu.

Çizge 1’de gösterilen bu parametreler; üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi farklı sektörlerde standart bir veri altyapısı oluşturulmasını sağlamaktadır. Parametreler sektörler arası veri bütünlüğünü ve ortak analiz altyapısını mümkün kılmak için seçilmiştir. Böylelikle geliştirilen dijital ikiz aracı, yalnızca tek bir sektöre değil, çoklu sektörlerde aynı anda hizmet verebilecek potansiyele sahip olmuştur.

Çizelge 1. Tekrar Kullanılabilir Dijital İkiz Ortak Parametreleri

| Parametre | Üretim | Sağlık | Havacılık | Akıllı Şehirler | Endüstriyel IoT |
|--------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|
| Kimlik ve Belirleyici Bilgiler | Makine/Ürün Kimliği | Hasta/Cihaz Kimliği | Uçak/Motor Kimliği | Altyapı Bileşeni Kimliği | Cihaz/Sensör Kimliği |
| Çalışma Durumu | Aktif/Arızalı Durumu | Cihaz Çalışma Durumu | Operasyon/Bakım | Çalışır/Devre Dışı | Aktif/Pasif Durumu |
| Konum Bilgisi | Üretim Hattı Lokasyonu | Hasta/Cihaz Konumu | Uçuş/Bakım Konumu | Altyapı Konumu | Cihaz Konumu |
| Yaşam Döngüsü | Üretim Süreçleri | Cihaz Kullanım Ömrü | Parça Yaşam Döngüsü | Altyapı Yenileme | Donanım/Sürüm Yönetimi |
| Gerçek Zamanlı Sensör Verileri | Sıcaklık, Basınç vb. | Kalp Atış Hızı, MR | Motor Sıcaklığı, Basınç | Trafik, Hava Kalitesi | Sıcaklık, Nem vb. |
| Sağlık Durumu | Makine Sağlığı | Hasta/Cihaz Sağlığı | Sistem Genel Durumu | Altyapı İşlevselliği | Cihaz Sağlık Durumu |
| Bakım Tarihi | Son Bakım Zamanı | Cihaz Bakım Takibi | Uçak Bakım Kaydı | Altyapı Bakım Takibi | IoT Cihaz Bakımı |
| Bağlantı Durumu | Sistem Bağlantısı | Cihaz Bağlantısı | Uçuş Veri Akışı | Sensör Erişimi | Cihaz Bağlantı Durumu |

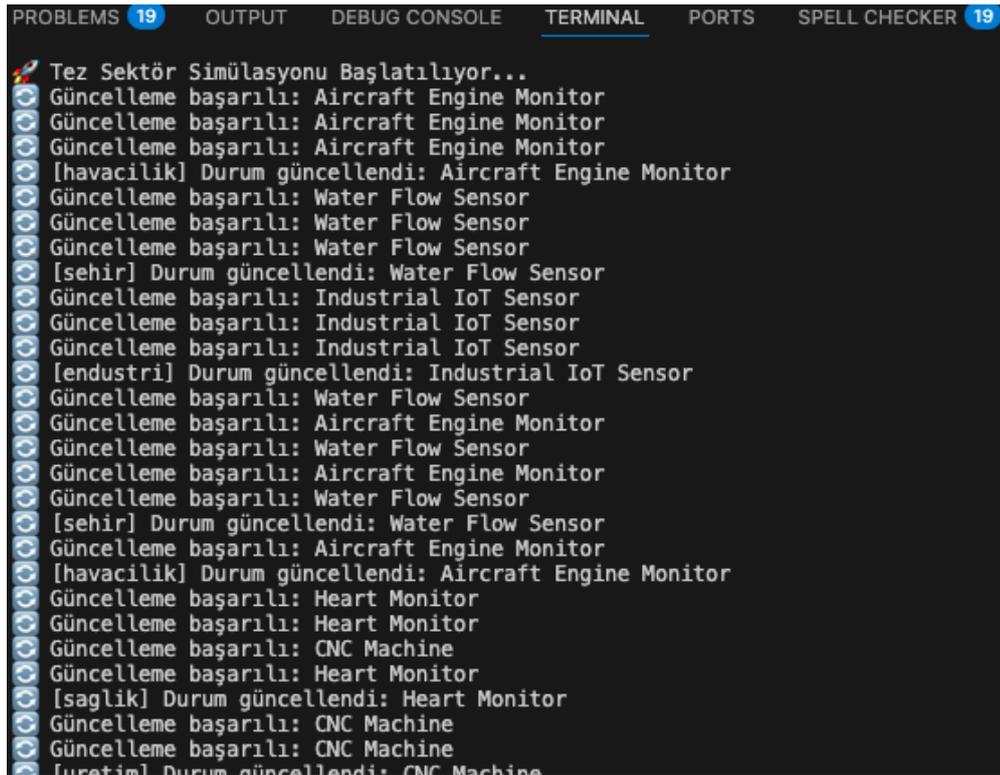
2.2. Tekrar Kullanılabilir Dijital İkiz Aracının Geliştirilmesi

Bu çalışmada geliştirilen tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, farklı sektörlerde kullanılacak esnek, modüler ve ölçeklenebilir bir sistem olarak tasarlanmıştır. Aracın temel amacı; üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi çeşitli sektörlerde yer

alan fiziksel varlıkların dijital ortamda temsil edilmesini sağlamak, bu varlıkların gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini mümkün kılmak ve tüm bu süreçlerin sektör bağımsız bir mimari üzerinde yürütülebilmesini sağlamaktır.

Geliştirilen aracın mimarisi üç temel katmandan oluşmaktadır:

1. Fiziksel Varlık Simülasyonu: Bu katman, fiziksel nesnelerin dijital ikizlere veri sağlayabilmesi için tasarlanmıştır. C++ programlama dili kullanılarak geliştirilen bu simülasyon, farklı sektörlerdeki fiziksel varlıkların çalışma durumlarını, sensör verilerini ve sağlık bilgilerini üretebilecek esnek bir yapıya sahiptir. Her bir fiziksel varlık için tanımlanan parametreler, JSON formatında yapılandırılmış ve bu yapı aracılığıyla başlangıç bilgileri sisteme entegre edilmiştir. Fiziksel varlıklar çalıştıkça güncel veriler fiziksel katman arayüzü ile sunucu katmanına iletilir. Sunucu katmanına iletilen güncellemeler Görsel 2'de gösterildiği gibi sistem terminaline yazdırılmıştır.



```
PROBLEMS 19 OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS SPELL CHECKER 19
Tez Sektör Simülasyonu Başlatılıyor...
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
[havacilik] Durum güncellendi: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
[sehir] Durum güncellendi: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Industrial IoT Sensor
Güncelleme başarılı: Industrial IoT Sensor
Güncelleme başarılı: Industrial IoT Sensor
[endustri] Durum güncellendi: Industrial IoT Sensor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Water Flow Sensor
[sehir] Durum güncellendi: Water Flow Sensor
Güncelleme başarılı: Aircraft Engine Monitor
[havacilik] Durum güncellendi: Aircraft Engine Monitor
Güncelleme başarılı: Heart Monitor
Güncelleme başarılı: Heart Monitor
Güncelleme başarılı: CNC Machine
Güncelleme başarılı: Heart Monitor
[saglik] Durum güncellendi: Heart Monitor
Güncelleme başarılı: CNC Machine
Güncelleme başarılı: CNC Machine
[uretim] Durum güncellendi: CNC Machine
```

Görsel 2. Fiziksel Varlık Simülasyonu

2. Sunucu Katmanı: Node.js teknolojisi ile geliştirilen bu katman, fiziksel varlıklardan gelen verileri merkezi olarak işleyen ve yöneten yapıyı ifade eder. RESTful API ve WebSocket protokolleri kullanılarak gerçek zamanlı veri akışı sağlanır. Sunucu

katmanı aynı zamanda tüm verilerin tutulduğu katmandır. Görsel 3'te gösterildiği gibi JSON veri formatında tutulan bu veriler sayesinde geçmiş verilere erişim sağlanmakta, performans analizleri yapılabilmekte ve sistemin zaman içindeki değişimleri izlenebilmektedir.

```
{
  "id": "eed74f5f-c281-4e21-a0c6-e5ae75fb5253",
  "connectionStatus": "connected",
  "healthStatus": "good",
  "lastMaintenanceDate": "2025-06-01",
  "lifecycle": "operation",
  "location": "Üretim Hattı A",
  "name": "CNC Machine",
  "sensorData": {
    "basinc": 1.0957221620489221,
    "sicaklik": 74.88634007437017
  },
  "state": "active"
},
{
  "id": "7995a60b-6f0e-4413-b55b-d3f3ff28dca3",
  "connectionStatus": "connected",
  "healthStatus": "fair",
  "lastMaintenanceDate": "2025-05-20",
  "lifecycle": "operation",
  "location": "Yoğun Bakım 2",
  "name": "Heart Monitor",
  "sensorData": {
    "kalpAtis": 87,
    "oksijen": 97.02958390415348
  },
  "state": "inactive"
},
}
```

Görsel 3. Sunucu Katmanı

3. Kullanıcı Arayüzü: Kullanıcıların dijital ikizleri anlık olarak gözlemleyebileceği arayüz React.js teknolojisiyle geliştirilmiştir. Görsel 4'te gösterilen kullanıcı arayüzünde her bir dijital ikiz, kendisine ait kart yapısı ile temsil edilmekte ve bu kartlar üzerinde çalışma durumu, konum, yaşam döngüsü ve sensör verileri gibi bilgiler görüntülenebilmektedir. WebSocket entegrasyonu sayesinde sistemdeki değişiklikler anlık olarak arayüze yansıtılmaktadır. Böylece kullanıcılar farklı fiziksel

varlıklara ait tüm bilgileri gerçek zamanlı olarak takip edebilmekte ve karşılaştırabilmektedir.

TEKRAR KULLANILABİLİR DİJİTAL İKİZ ARACI

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Name | CNC Machine |
| ID | d2c46a9b-b47b-447d-a82b-705abe0dbc81 |
| Location | Üretim Hattı A |
| State | standby |
| Health | good |
| Connection | connected |
| Maintenance | 2025-06-01 |
| Lifecycle | operation |
| Sensör | basinc: 1.77 |
| Verileri | sicaklik: 60.81 |

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Name | Heart Monitor |
| ID | 67d641f7-9def-4b06-90cb-735e9d332c30 |
| Location | Yoğun Bakım 2 |
| State | standby |
| Health | fair |
| Connection | connected |
| Maintenance | 2025-05-20 |
| Lifecycle | operation |
| Sensör | kalpAtis: 60.00 |
| Verileri | oksijen: 94.73 |

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Name | Aircraft Engine Monitor |
| ID | 43fac5db-ee22-4a56-bceb-3ce205b0689d |
| Location | Uçak No: TK345 |
| State | inactive |
| Health | poor |
| Connection | connected |
| Maintenance | 2025-05-30 |
| Lifecycle | deployment |
| Sensör | basinc: 3.20 |
| Verileri | motorSicaklik: 487.68 |

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Name | Water Flow Sensor |
| ID | 38747596-ba5f-40e4-b18b-5d7a6a801527 |
| Location | Kanalizasyon Bölge 5 |
| State | standby |
| Health | fair |
| Connection | connected |
| Maintenance | 2025-06-05 |
| Lifecycle | operation |
| Sensör | akim: 14.58 |
| Verileri | basinc: 3.95 |

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Name | Industrial IoT Sensor |
| ID | 7f0ef904-71ae-410c-bf0d-24bfebe5f6f2 |
| Location | Kanalizasyon Bölge 5 |
| State | inactive |
| Health | good |
| Connection | connected |
| Maintenance | 2025-06-10 |
| Lifecycle | operation |
| Sensör | nem: 62.65 |
| Verileri | sicaklik: 98.13 |

Görsel 4. Kullanıcı Arayüzü

Bu yapı modüler bir şekilde tasarlandığı için ileride yeni parametrelerin veya farklı sektörlere özgü özelliklerin sisteme kolaylıkla eklenebilmesi mümkündür. Ayrıca geliştirilen araç, büyük veri analitiği ve yapay zeka algoritmaları ile entegre edilmeye uygun bir altyapı sunmaktadır. Bu sayede yalnızca izleme değil, aynı zamanda tahmine dayalı analizler, bakım planlamaları ve performans iyileştirme çalışmaları da gerçekleştirilebilecektir.

Genel olarak, tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, sektörel sınırları aşarak farklı uygulama alanlarında ortak bir platform oluşturmakta; dijital dönüşüm ve akıllı sistem geliştirme süreçlerinde güçlü bir çözüm alternatifini sunmaktadır.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, dijital ikiz teknolojisinin sektörel bağımsız bir yaklaşımla ele alınarak farklı sektörlerde uygulanabilir bir tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi farklı sektörlerde

yapılan analizler sonucunda ortak parametreler belirlenmiş ve bu parametreler ışığında aracın tasarım ve geliştirme süreci tamamlanmıştır.

Geliştirilen araç; modüler mimarisi, gerçek zamanlı veri takibi, sektörel çeşitliliğe uygun veri yapısı ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde çeşitli alanlardaki ihtiyaçlara cevap verebilecek kapasitededir. Sistem, fiziksel varlıklardan alınan verileri anlık olarak işleyip kullanıcıya sunmanın yanı sıra geçmiş verilerin depolanması ve analiz edilmesine de imkan tanımaktadır. Böylece kullanıcılar yalnızca mevcut durumu gözlemlemekle kalmayıp, zaman içindeki değişimleri analiz ederek performans iyileştirme ve bakım planlama gibi kritik süreçleri daha etkin yönetebilmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen aracın farklı sektörlerdeki örnek senaryolarda uygulanabilirliği test edilmiş ve tüm senaryolarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Üretim hattındaki bir makine, bir medikal cihaz, uçak motoru veya akıllı şehir altyapısındaki bir bileşen gibi farklı fiziksel varlıklar, aynı sistem içinde sorunsuz biçimde modellenmiş ve izlenebilmiştir. Bu da aracın sektörel bağımsız bir çözüm sunduğunu ve farklı kullanım alanlarına kolayca adapte edilebileceğini göstermektedir.

Sonuçlar göstermiştir ki; tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, dijital dönüşüm süreçlerinde kurumlara hem maliyet avantajı hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır. Sistem mimarisi, büyük veri analitiği ve yapay zeka uygulamalarıyla da desteklenmeye uygun olduğu için, gelecekte daha gelişmiş analizler, arıza tahminleme ve otomatik bakım önerileri gibi ileri seviye özelliklerle güçlendirilebilir.

Bu kapsamda geliştirilen araç, dijital ikiz teknolojisinin yaygınlaştırılmasına katkı sağlamakta ve dijitalleşme süreçlerine stratejik bir değer kazandırmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında geliştirilen tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, farklı sektörlerdeki dijitalleşme ve dönüşüm ihtiyaçlarına ortak bir çözüm sunma potansiyeline sahip yenilikçi bir yaklaşımdır. Özellikle üretim, sağlık, havacılık, akıllı şehirler ve endüstriyel IoT gibi birbirinden farklı sektörlerde ortak parametrelerin belirlenmesi, dijital ikizlerin yalnızca tekil çözümlerden öte, evrensel bir modelle uygulanabileceğini ortaya koymuştur.

Literatürde yer alan dijital ikiz uygulamaları çoğunlukla sektör odaklı ve sınırlı kapsamlı iken, bu çalışmada geliştirilen araç; modüler yapısı, gerçek zamanlı veri yönetimi ve kullanıcı dostu arayüzü ile farklı sektörlerle kolaylıkla adapte edilebilen esnek bir sistem olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, kurum ve kuruluşların dijital ikiz sistemlerini hızlı ve düşük maliyetle entegre edebilmesine imkan tanımaktadır.

Çalışmanın sonuçları, dijital ikiz teknolojisinin yalnızca izleme ve takip aracı olmaktan öteye geçerek; bakım planlama, performans optimizasyonu, arıza tahmini ve karar destek süreçlerinde de etkin bir araç olabileceğini göstermiştir. Ayrıca sistemin büyük veri analitiği ve yapay zeka algoritmalarıyla entegre edilebilir yapıda olması, gelecekte daha gelişmiş ve öngörüye dayalı dijital ikiz uygulamalarının geliştirilmesine de zemin hazırlamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, tekrar kullanılabilir dijital ikiz aracı, sektörel sınırlamaları ortadan kaldırarak daha bütünlük, sürdürülebilir ve geniş kapsamlı dijital dönüşüm projelerine katkı sunabilecek niteliktedir. Bu doğrultuda ilerleyen çalışmalarla birlikte aracın farklı sektörlerdeki özel ihtiyaçlara yönelik daha fazla özelleştirilmesi, verimliliğin artırılması ve yapay zeka destekli gelişmiş analiz kabiliyetlerinin eklenmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Gelernter, D., 1993, Mirror worlds: Or the day software puts the universe in a shoebox... How it will happen and what it will mean. Oxford University Press.
- [2] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles.
- [3] Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y., and Zhao, D., 2018, Digital twin service towards smart manufacturing. *Procedia Cirp*, 72, 237-242.
- [4] Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y., 2018, Digital twin in industry: State-of-the art. *IEEE Transactions on industrial informatics*, 15(4), 2405-2415.
- [5] Grieves, M., 2015, Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. Florida Institute of Technology. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/275211047>

N2 SINIFI TİCARİ ARAÇLAR İÇİN ARA BÖLMELERİN MEKANİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Didem Elif SOYDAN

Farform Otomotiv San. Tic. A.Ş., ydidemelif@gmail.com- 0009-0008-8894-9275

Prof. Dr. Hasan KAYA

Kocaeli Üniversitesi Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri, Metalürji Programı, hasan.kaya@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-4461-8764

ÖZET

Bu çalışmada, ticari araçlarda kullanılan ara bölme (bulkhead) uygulamaları için geleneksel olarak tercih edilen alüminyum levha, cam elyaf takviyeli düşük ağırlıklı termoplastik (DATT) panel ve %100 geri dönüştürülmüş PET keçe ve EVA film içeren kompozit yapının mekanik performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Numuneler aynı geometri ve ölçülerde hazırlanarak, çekme testi (ISO 527-1), çentiksiz Charpy darbe testi (ISO 179-1), Shore D ve Vickers sertlik testleri ile mekanik testleri yapılmıştır.

Çekme testlerinde, DATT panel elastik modül (5794,8 MPa) ve çekme mukavemeti (70,9 MPa) değerlerine ulaşmış, ancak maksimum uzama %1,6 ile sınırlı kalmıştır. PET keçe bazlı yapı (2005 MPa) çekme mukavemeti ve %21,2 uzama değerleri ile sünek karakter sergilemiştir. AA5754 ise 264 MPa çekme mukavemeti, 112 MPa akma mukavemeti ve %0'a yakın çok düşük uzama değerleri ile gevrek karakterli bir yapı göstermiştir.

Charpy çentiksiz darbe testi sonuçlarına göre, en yüksek darbe dayanımı PET keçe yapıda 53,6 kJ/m² olarak ölçülmüş, bunu DATT panel (L1) 50,5 kJ/m² ile takip etmiştir. Alüminyum yapı ise 0,0022 kJ/m² ile en düşük darbe absorpsiyonuna sahip olmuştur. Sertlik değerlendirmelerinde, PET yapının Shore D değeri 54–62 arasında, DATT yapının Shore D değeri 40, AA5754 numunede yapılan Vickers ölçümleri 292–326 HV aralığında gerçekleşmiştir.

Bu sonuçlar, PET keçe bazlı kompozit yapının yüksek darbe dayanımı, süneklik ve geri dönüştürülebilirlik gibi özellikleriyle, geleneksel metalik ve cam elyaf katkılı sistemlere alternatif olabileceğini göstermektedir. Çalışma, özellikle hafiflik, darbe emicilik ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerini birlikte gözetilen ticari araç iç yapı tasarımlarına katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, bulkhead, DATT, darbe dayanımı, kompozit yapı, geri dönüşüm, PET keçe.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF BULKHEADS FOR N2 CLASS COMMERCIAL VEHICLES

ABSTRACT

In this study, the mechanical performances of three different materials used in bulkhead (partition wall) applications for commercial vehicles were comparatively evaluated: traditionally preferred aluminum sheet, glass fiber-reinforced low-weight thermoplastic (LWRT) panel, and a composite structure containing 100% recycled PET felt and EVA film. Samples were prepared in identical geometry and dimensions, and subjected to mechanical testing including tensile test (ISO 527-1), unnotched Charpy impact test (ISO 179-1), Shore D and Vickers hardness tests.

In the tensile tests, the LWRT panel exhibited a high elastic modulus (5794.8 MPa) and tensile strength (70.9 MPa), but showed limited ductility with a maximum elongation of only 1.6%. The PET felt-based structure demonstrated a more ductile behavior with a tensile modulus of 2005 MPa and an elongation at break of 21.2%. AA5754 aluminum, on the other hand, exhibited a brittle behavior with a tensile strength of 264 MPa, yield strength of 112 MPa, and almost zero elongation.

According to unnotched Charpy impact test results, the highest impact resistance was observed in the PET felt structure with 53.6 kJ/m², followed by the LWRT panel (L1) with 50.5 kJ/m². The aluminum structure had the lowest impact absorption capacity, with a value of 0.0022 kJ/m². In hardness evaluations, the Shore D hardness of the PET-based structure ranged between 54–62, the LWRT panel had a Shore D hardness of 40, and the Vickers hardness values of the AA5754 samples ranged between 292–326 HV.

These results indicate that the PET felt-based composite structure could serve as an alternative to conventional metallic and glass fiber-reinforced systems due to its superior impact resistance, ductility, and recyclability. The study aims to contribute to the design of commercial vehicle interior structures that prioritize lightweighting, energy absorption, and environmental sustainability.

Keywords: Aluminum, Bulkhead, Composite structure, DATT, Impact resistance, PET felt, Recycling, Tensile test, Hardness

1. GİRİŞ

Günümüzde ticari araçlarda sürücü ve yolcu güvenliğini artırmak, araç içi konforu iyileştirmek ve yük emniyetini sağlamak amacıyla bulkhead (ara bölme) yapılarının teknik gereksinimleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle N2 sınıfı ticari araçlar için, yük bölümünün sürücü kabininden fiziksel olarak ayrılması; ani frenleme, keskin viraj alma veya çarpışma gibi durumlarda yükün kabin içine geçmesini önlemek açısından kritik bir işlev üstlenmektedir. Bu tür yapılar hem mekanik dayanım hem de güvenlik performansı bakımından yüksek yapısal mukavemet gerektirmektedir [1-2].

Bu kapsamda, geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit ara bölme yapıları, sahip oldukları teknik ve çevresel avantajlar sayesinde söz konusu gereksinimlere etkin bir şekilde cevap verebilecek yenilikçi bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Malzemenin hem darbe emici özellikleri hem de yapısal stabilitesi, geleneksel sistemlere karşı güçlü bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır [3-4].

Bu tür uygulamalarda yaygın olarak iki ana malzeme sistemi öne çıkmaktadır: cam elyaf takviyeli düşük ağırlıklı termoplastik (DATT) paneller ve alüminyum levhalar. DATT paneller, hafiflik, şekillendirilebilirlik ve mukavemet-ağırlık oranı açısından otomotiv iç trim bileşenleri için avantajlar sunarken; aynı zamanda düşük maliyetli üretim süreçlerine sahiptir [5-6]. Bununla birlikte, cam elyaf içeriği nedeniyle hem üretim sürecinde işleme zorlukları hem de geri dönüşüm kısıtları barındırmaktadır [7]. Alüminyum ise, özellikle 5000 serisi alaşımlar kapsamında otomotiv ara bölme uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmakta olup; çalışmada kıyaslaması yapılan diğer malzeme numunelerine nazaran daha yüksek rijitliği ile bilinse de darbe dayanımı, şekillendirme zorluğu ve göreceli olarak yüksek ağırlığı nedeniyle sınırlayıcı olabilmektedir [8].

Avrupa Birliği'nin "Fit for 55" paketi kapsamında, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının 1990 seviyelerine kıyasla %55 oranında azaltılması hedeflenmekte olup, bu doğrultuda ulaşım sektörü başta olmak üzere tüm enerji ve malzeme kullanım süreçlerinde karbon ayak izinin düşürülmesi gerekmektedir [9]. Bu hedef, otomotiv endüstrisinin yalnızca araç performansı ve güvenliği değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği de gözeten malzeme stratejileri geliştirmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle Avrupa Parlamentosu'nun 2018/852 sayılı Direktifi ile 2025 yılına kadar ambalaj kaynaklı plastik atıkların en az %50'sinin, 2030'a kadar ise %55'inin geri dönüştürülmesini zorunlu hale getiren düzenlemeler, geri dönüştürülmüş malzeme temelli ürünlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir [10]. Bu kapsamda, geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (PET) elyafları ile kompozit yapıların üretimi hem çevresel etkilerin azaltılması hem de yeni nesil otomotiv bileşenlerinde işlevsel performans sağlanması açısından önemli bir fırsat sunmaktadır [11-12].

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, %100 geri dönüştürülmüş PET (polietilen tereftalat) elyaflarından üretilen keçe yapıların otomotivde fonksiyonel amaçlarla değerlendirilmesi önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Literatürde PET keçe yapılarının izolasyon ve iç trim uygulamalarında kullanıldığı görülmekle birlikte, yük taşıyan yapısal parçalarda sistematik olarak test edilip değerlendirilmiş uygulamaları sınırlıdır [13-20].

Çalışmanın temel amacı, PET keçe bazlı yapının bulkhead uygulamasına uygunluğunu ortaya koymak, çevresel sürdürülebilirlik açısından sektöre yeni bir alternatif sunmak ve “Fit for 55” hedefleri doğrultusunda geri dönüştürülebilir malzeme kullanımını teşvik etmektir. Bu kapsamda elde edilen bulgular, mevcut literatür ışığında değerlendirilmiş ve sektörde uygulanabilirliği tartışılmıştır.

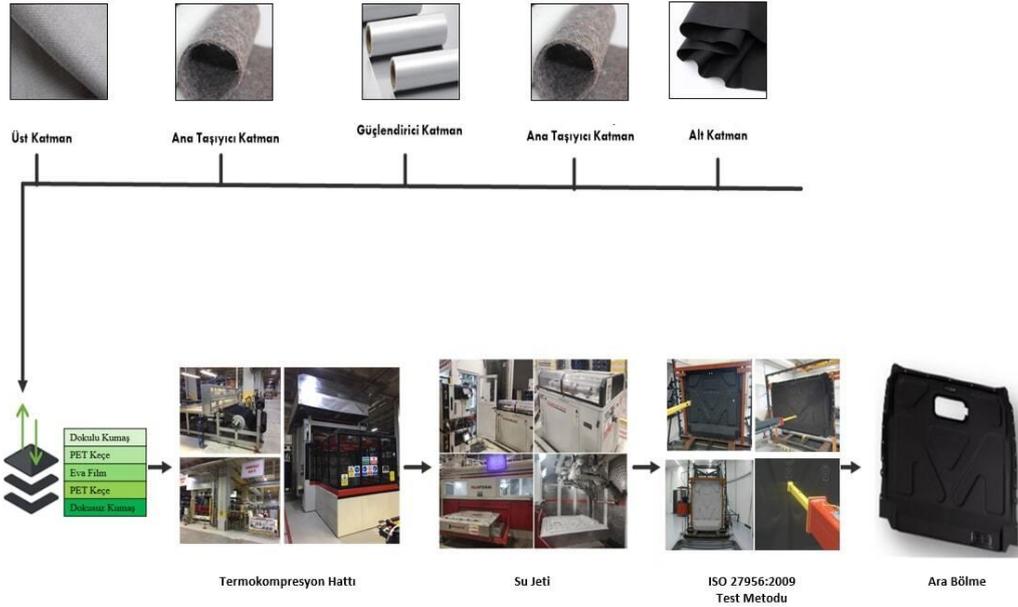
Bu çalışma kapsamında, geleneksel olarak kullanılan AA5754 panel ve DATT yapıların yanı sıra, geri dönüştürülmüş PET keçe ve EVA filmden oluşan çok katmanlı kompozit yapı, mekanik test kriterleri üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Numuneler üzerinde çekme testi, çentiksiz darbe testi, Shore D ve Vickers sertlik testleri gerçekleştirilmiş; ayrıca darbe ve çekme testleri sonrası kırılma yüzeylerinin mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Üretim Yöntemi

Bu çalışmada, N2 sınıfı ticari araçlarda kullanılan üç farklı ara bölme malzemesi: %100 geri dönüştürülmüş PET keçe + EVA film bazlı kompozit yapı, cam elyaf takviyeli DATT panel ve AA5754 levha karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan malzemeler ve üretim yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

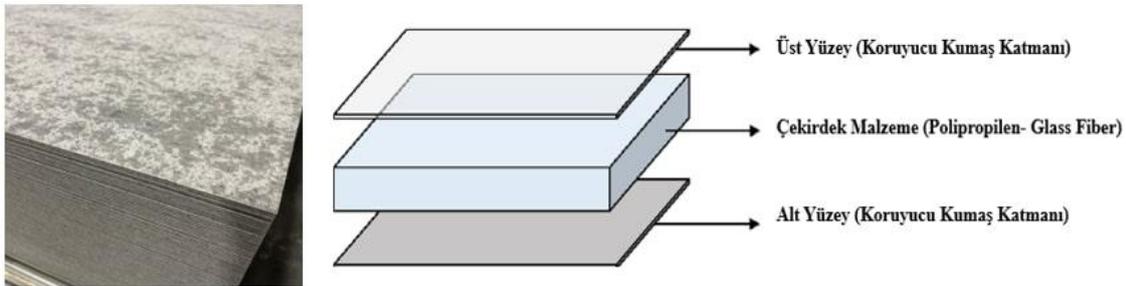
Yeni geliştirilen kompozit yapının ana bileşenini, %100 geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (PET) şişe atıklarından üretilen PET keçe oluşturmaktadır. Kullanılan PET keçede iki farklı erime sıcaklığına sahip PET lifleri bulunmakta olup, düşük erime noktalı bağlayıcı lifler (yaklaşık 120 °C erime sıcaklığına sahip) kompozit yapının bütünlüğünü sağlamakta ve yüksek erime sıcaklıklı lifler (yaklaşık 180 °C) yapının mekanik mukavemetini desteklemektedir. Yapının katmanları arasına yerleştirilen laminasyon filmi ise hem bağlayıcı görevini üstlenmekte hem de katmanlar arasında esneklik ve yapışma mukavemeti sağlamaktadır.



Görsel 8. Geliştirilen Kompozit Ara Bölme Üretiminde Kullanılan Katmanlar ve İşlem Adımları

Kompozit yapı Farform Otomotiv San. Tic. A.Ş. kompozit üretim hattında sıcak presleme (termo-kompresyon) yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretim sürecinde tüm malzeme katmanları (PET keçe + laminasyon filmi + PET keçe) uygun kalıp içerisinde istiflenmiş, önceden ısıtılan hava fırınında 20 dakika süreyle ısıtılmış ve ardından 1500 kN kapasiteli soğuk pres altında 120 sn süreyle preslenmiştir. Bu yöntem sayesinde malzeme homojen yapıya yakın özellikte şekillendirilmesi sağlanmış ve hedeflenen mekanik özelliklere sahip ürün elde edilmiştir. Detaylı proses anlatımı Görsel 1’de verilmiştir.

Karşılaştırma amacıyla kullanılan DATT paneller, geleneksel otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan, cam elyaf takviyeli polipropilen esaslı, düşük ağırlıklı ve form verilebilir yapıdaki ticari ürünlerden temin edilmiştir (Bkz: Görsel 2).



Görsel 9. DATT Yapısı [6]

DATT yapılar, iç yapılarında cam elyaf ve termoplastik matris içermekte olup, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve şekil verilebilirlik avantajı sunmaktadır. Ancak, üretimlerinde kullanılan cam elyaf nedeniyle geri dönüşüm süreçlerinde çevresel sürdürülebilirlik açısından sınırlamalara sahiptir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit yapı için farklı reçeteler denenmiş ve optimum yapı belirlenmiştir. Üretim sürecinde yerli olarak pet keçe üretimi yapan bir firmadan temin edilen farklı gramajlarda (%100 geri dönüştürülmüş PET liflerinden üretilmiş) PET keçe malzemeleri kullanılmıştır. Denemelerde 938 gsm, 1300 gsm ve 1800 gsm ağırlığında PET keçe kombinasyonları ile reçeteler hazırlanmış, katmanlar arasında 100 mikron kalınlığında laminasyon filmi yerleştirilmiştir. Bazı denemelerde ilave olarak yüzey katmanı için kumaş katmanı da kullanılmıştır. Testlerde kullanılmak için optimum olarak iki katman geri dönüştürülmüş PET keçe ve ara bağlayıcı olarak 100 mikron EVA film içeren simetrik bir yapı belirlenmiş ve testlerde bu reçete kullanılmıştır. Referans kompozit yapı olarak ise ticari olarak kullanılan, cam elyaf takviyeli polipropilen esaslı DATT panelden üretilmiş örgü cam elyaf bağlayıcı olarak kullanılan kompozit yapı kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, alüminyum için referans malzeme olarak 1,0 x 1.000 x 2.000 mm ebatlarında ve H111 temper sınıfında, AA5754 levha kullanılmıştır. Gelen levha, Bystronic BySprint Pro 3015 (4 kW) lazer kesim tezgahında çekme mukavemeti ve Charpy testleri için ISO-6892-1-2009 standardında belirtilen ölçülere uygun olacak şekilde işlenmiştir. Kesim işlemi sırasında kesim yüzeyinde oksidasyon oluşumunu engellemek ve daha temiz bir kesim kenarı kalitesi için azot (N₂) gazı kullanılarak kesim yapılmıştır.

2.2. Uygulanan Testler ve Deneysel Yöntem

Geliştirilen geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit yapı ve referans DATT yapısı ve AA5754 levha üzerinde, mekanik ve fonksiyonel performansı değerlendirmek amacıyla çeşitli standartta testler gerçekleştirilmiştir.

Çekme mukavemeti testleri, kompozitler için ISO 527-1 alüminyum için ISO-6892-1-2009 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri, hazırlanmış plakalardan standart ölçülerde kesilmiş ve sabit yükleme hızı altında çekilerek kopma mukavemetleri, akma noktaları ve uzama değerleri Görsel 3. ve Görsel 4.'de verildiği gibi elde edilmiştir.



| Numune | Boy (mm) | Not |
|--------|----------|-----------------|
| L1-A | 150 | En Düşük Uzama |
| L1-B | 154 | En Yüksek Uzama |

| Numune | Boy (mm) | Not |
|--------|----------|-----------------|
| 7A-B | 165 | En Yüksek Uzama |
| 7A-C | 155 | En Düşük Uzama |

| Numune | Boy (mm) | Not |
|--------|----------|-----------------|
| 8B-E | 155 | En Düşük Uzama |
| 8B-F | 164 | En Yüksek Uzama |

| Numune | Boy (mm) | Not |
|--------|----------|-----------------|
| 9C-B | 163 | En Yüksek Uzama |
| 9C-F | 155 | En Düşük Uzama |

| Numune Adı | L1 | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | 1. Örnek | 2. Örnek | 3. Örnek | 4. Örnek | 5. Örnek | Ortalama | %CV |
| En Büyük Kuvvet (N) | 3161 | 3381 | 3340 | 2941 | 3015 | 3347,6 | 9,7 |
| En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa) | 68,5 | 77,1 | 76,7 | 67,1 | 65 | 70,9 | 7,1 |
| Maksimum Uzama (%) | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 1,5 | 1,7 | 1,6 | 8,8 |
| Elastisite Modülü (MPa) | 6319 | 3918 | 6759 | 6213 | 5765 | 5794,8 | 17,1 |

| Numune Adı | 7A | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | 1. Örnek | 2. Örnek | 3. Örnek | 4. Örnek | 5. Örnek | Ortalama | %CV |
| En Büyük Kuvvet (N) | 1681 | 1784 | 1689 | 1655 | 1750 | 1744,4 | 3,9 |
| En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa) | 31,5 | 33,5 | 31,4 | 35,1 | 33,2 | 32,9 | 4,7 |
| Maksimum Uzama (%) | 18,5 | 16,4 | 22,3 | 18,9 | 16,1 | 18,4 | 12,1 |
| Elastisite Modülü (MPa) | 1787 | 1972 | 1524 | 2324 | 2018 | 2005,0 | 8,8 |

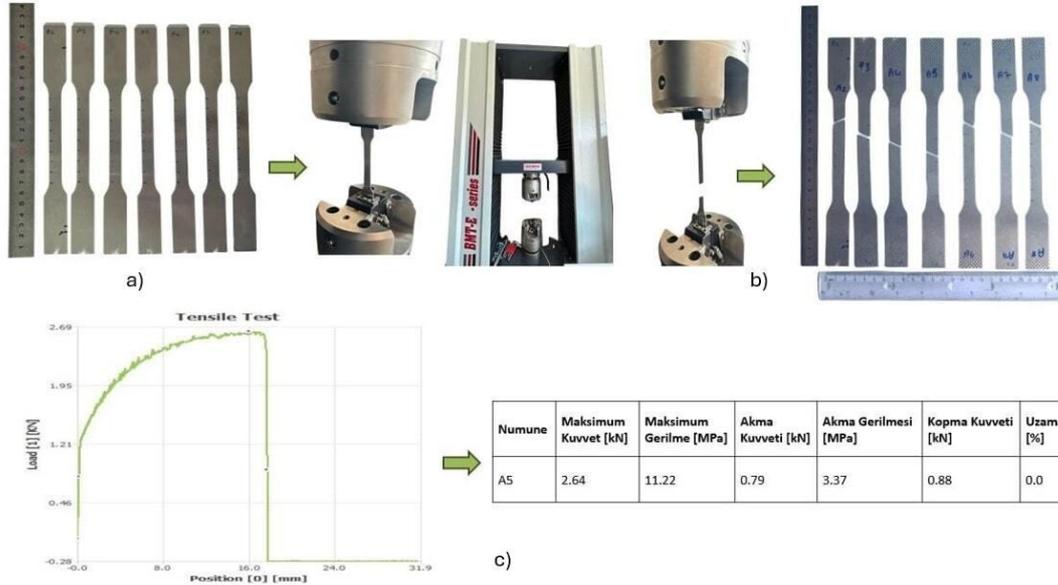
| Numune Adı | 8B | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| | 1. Örnek | 2. Örnek | 3. Örnek | 4. Örnek | 5. Örnek | Ortalama | %CV |
| En Büyük Kuvvet (N) | 1181 | 1061 | 1091 | 1146 | 1199 | 1135,6 | 4,6 |
| En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa) | 25,1 | 24,5 | 25,9 | 27,7 | 28,1 | 26,3 | 5,4 |
| Maksimum Uzama (%) | 21,3 | 15 | 20,2 | 15,3 | 21,4 | 18,6 | 15,5 |
| Elastisite Modülü (MPa) | 1678 | 1254 | 1119 | 1555 | 1699 | 1467,0 | 16,1 |

| Numune Adı | 9C | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| | 1. Örnek | 2. Örnek | 3. Örnek | 4. Örnek | 5. Örnek | Ortalama | %CV |
| En Büyük Kuvvet (N) | 1072 | 1050 | 893 | 1037 | 998 | 1012,0 | 6,4 |
| En Büyük Kuvvetteki Gerilme (MPa) | 30,1 | 28,9 | 24,6 | 28,8 | 27,6 | 28,0 | 6,7 |
| Maksimum Uzama (%) | 23,3 | 20,3 | 19,8 | 21,2 | 21,5 | 21,2 | 5,7 |
| Elastisite Modülü (MPa) | 1219 | 1169 | 1061 | 1305 | 1343 | 1219,4 | 8,2 |

(a)

(b)

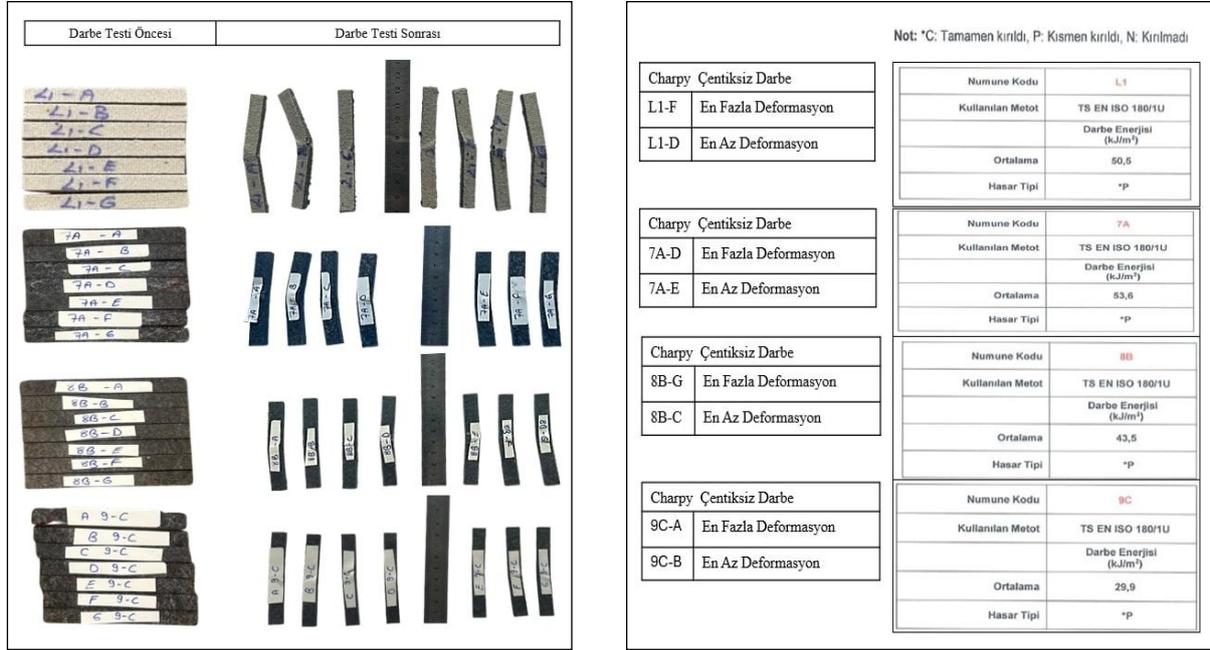
Görsel 10. (a) Çekme Testi Öncesi ve Sonrası Kompozit Numune Görselleri ile (b) Test Sonuçları



Görsel 4. a) Çekme Testi Öncesi ve b) Sonrası AA5754 Numune Görselleri ile c) Test Sonuçları

Çentiksiz darbe dayanımı testleri, ISO 179-1 standardına uygun olarak uygulanmıştır. Test için 80 x 10 mm numuneler hazırlanmış ve çentiksiz olarak sarkaç darbe test cihazında test

edilmiştir. Hazırlanan numuneler şekil 5 (a)'da görülmektedir. Elde edilen enerji absorpsiyon değerleri, yapıların darbe dayanım performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Test sonuçları şekil 5 (b)'de görüldüğü gibidir.

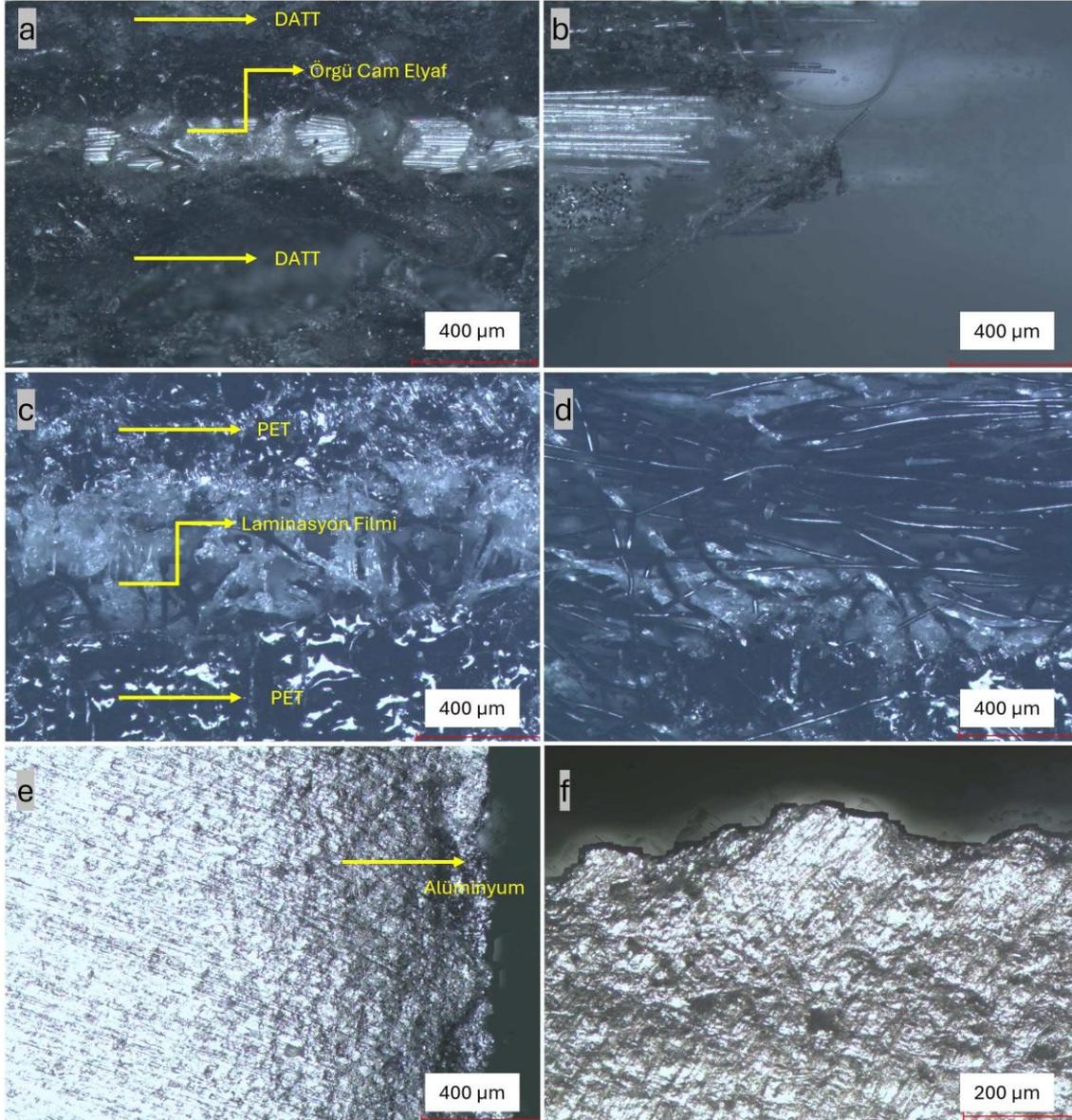


(a)

(b)

Görsel 5. (a) Çentiksiz Charpy Darbe Testi Öncesi ve Sonrası Kompozit Numunelere Ait Görseller ile (b) Test Sonuçları

Yüzey hasar karakterizasyonu çalışmaları kapsamında, çekme ve darbe testleri sonrasında numune yüzeyleri optik mikroskop altında incelenmiştir. Bu inceleme ile malzemelerin deformasyon mekanizmaları, kırılma davranışları ve yüzey morfolojilerindeki değişimler değerlendirilmiştir.



Görsel 6. DATT 1B (a, b), PETKEÇE_7A_B (c, d) ve Alüminyum A2 kırık yüzey (e), Alüminyum A4 kırık yüzey (f) Numunelerine Ait Optik Mikroskop Görüntüleri

Yapılan mekanik testlerin ardından mikroyapı incelemeleri için optik mikroskop çalışmaları yapılmıştır. 400 µm ölçekli büyütme ile yapılan incelemelerde, DATT yapılarında (Şekil 6a, 6b) cam elyaf yapılarında düzensizlikler, keskin kırılma yüzeyleri ve matris bölgesinde kırılma çatlakları gözlemlenmiştir. Bu durum, yapının darbe sonrası daha gevrek kırılma davranışı sergilediğini göstermektedir. Buna karşılık, PET keçe bazlı numunelerde (Şekil 6c, 6d) lif yönelimleri, lif çekilmeleri ve kontrollü çatlama izleri belirgin şekilde saptanmıştır. Lifli yapı ve bağlayıcı filmin deformasyon üzerindeki etkisi, bu yapının darbe enerjisini daha homojen şekilde dağıttığını göstermektedir. Özellikle PETKEÇE_7A_B numunesine ait mikrografilerde gözlenen liflerin çekilerek kopma öncesi enerji absorpsiyonuna katkı sağladığı anlaşılmıştır. Bu bulgular, PET keçe bazlı yapıların kontrollü deformasyon ve emniyetli kırılma davranışı sergilediğini desteklemektedir.

Uygulanan bu testler sayesinde, %100 geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit yapı ile geleneksel DATT yapının performansları çok boyutlu olarak karşılaştırılmış ve PET keçe bazlı yapının bu uygulama için uygunluğu kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir.

Alüminyum numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri (Şekil 6e, 6f), malzemenin kırılma mekanizmasına ilişkin önemli ipuçları sunmuştur. Çekme testi sonrası incelenen kırık yüzeylerde, mikroyapı düzeyinde belirgin plastik deformasyon izlerine yaygın şekilde rastlanmamıştır. Ancak bu durum, malzemenin tamamen gevrek kırıldığı anlamına gelmemekte; numunelerin test öncesinde yaşlandırılmamış olması nedeniyle 5xxx serisi alüminyumlara özgü yüksek süneklik potansiyelini koruduğu değerlendirilmektedir. İncelenen kırık yüzeyler, yarı sünek-yarı gevrek karakteristikte bir kırılma davranışına işaret etmekte olup, Mg içeriği yüksek bu seride çatlak ilerlemesi sırasında ani kopma ve sınırlı deformasyon birlikte gözlemlenmiştir.

Görüntülerin her ikisinde de alüminyum levhanın kırık yüzeyi düzensiz, keskin ve kristal yapılı bir görünüm sergilemektedir. Şekil 6 (e) 'de yüzey boyunca uzanan paralel çizgilenmeler belirgindir. Bu izler, malzemenin üretimi esnasında sac metal yapımında kullanılan işlem proseslerinden haddeme işlem yönünü işaret etmekte olup, numunelerin aynı yönlü deformasyonla kopmaya uğramasını sergilemektedir. Çekme testi sırasında oluşan kırılmanın bu doğrultuda ilerlediği anlaşılmaktadır.

Şekil 6 (f) 'de yer alan 200 μm büyütme görüntüde ise mikro boşluklar ve keskin kırılma kenarları daha net görülmektedir. Bu bölgelerde herhangi bir plastik deformasyon belirtisine rastlanmamakta, yani lif çekilmesi, tel uzaması ya da akma izleri gözlemlenmemektedir. Bu da kırılmanın süneklik göstermeden, gevrek karakterde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Her iki görüntüdeki yüzey yapısı; yaşlandırılmamış, soğuk işlenmiş (soğuk hadde görmüş) bir alüminyumun, yönlü özellikler taşıyan ve yüksek sertliğe rağmen düşük darbe absorpsiyon kabiliyetine sahip olduğunu doğrular niteliktedir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma kapsamında, ticari araçlarda kullanılan ara bölme (bulkhead) yapıları için üç farklı malzeme sistemine ait mekanik performans karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, her yapının kendine özgü avantaj ve sınırlılıklarını ortaya koymuştur.

Çekme testleri sonucunda, cam elyaf takviyeli DATT panel yüksek elastik modül (5794,8 MPa) ve çekme mukavemeti (70,9 MPa) ile rijit bir yapı profili sergilemiş; ancak uzama oranı %1,6 ile sınırlı kalmıştır, bu da malzemenin darbe ya da ani yük altında kırılma davranış gösterebileceğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, %100 geri dönüştürülmüş PET keçe ve EVA film içeren kompozit yapı 2005 MPa elastik modül, 32,9 MPa çekme mukavemeti ve %21,2 uzama değeri ile daha sünek, darbe altında şekil değiştirebilen ve enerjiyi dağıtabilen bir yapı göstermiştir. Alüminyum numune ise 264 MPa çekme mukavemeti ve 112 MPa akma mukavemetine ulaşmasına rağmen neredeyse hiç (%0,01) uzama göstermemiştir.

Charpy çentiksiz darbe testlerinde de benzer bir tablo gözlenmiş, PET keçe yapılar en yüksek darbe enerjisi absorpsiyonu ile 53,6 kJ/m² değerine ulaşmış, DATT panel bu değeri 50,5 kJ/m² ile takip etmiştir. Alüminyum ise yalnızca 0,0022 kJ/m² darbe enerjisi ile kırılma ve darbe absorpsiyon kapasitesi düşük bir karakter ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, PET keçe yapının darbe karşısında enerji yayma ve emme kapasitesinin oldukça güçlü olduğunu göstermektedir.

Sertlik değerleri açısından, PET yapının Shore D değeri 54–62 aralığında ölçülmüş ve DATT panelden (Shore D: 40) daha yüksek bulunmuştur. Alüminyum numuneler ise Vickers sertlik ölçme yöntemiyle 292–326 HV_{0.5} arasında değerler göstermiştir. Bu sonuçlar alüminyumun yüzeysel sertliğinin yüksek olduğunu göstermiştir.

Optik mikroskop incelemeleri, malzemelerin kırılma davranışlarına dair önemli morfolojik bulgular sunmuştur. DATT yapılarında düzensiz cam elyaf çıkmaları, keskin kırık yüzeyleri ve matris çatlamları gözlenmiş; bu durum yapının darbe sonrasında daha kırılma bir karakter sergilediğini doğrulamıştır. PET keçe bazlı numunelerde ise lif yönelmeleri, lif çekilmeleri ve kontrollü çatlama izleri belirgin şekilde izlenmiştir. Bu durum, lifli yapı ve bağlayıcı film etkisiyle darbe enerjisinin yüzey boyunca homojen dağıtıldığını ve kontrollü bir deformasyon sağlandığını göstermektedir.

Alüminyum numunelerin kırık yüzeylerine ait optik görüntülerde ise herhangi bir plastik deformasyon izine rastlanmamış, bunun yerine tipik gevrek kırılma izleri gözlenmiştir. Tüm numunelerin benzer yönlerde kırılması, haddeleme yönünün kopma davranışı üzerinde etkili olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca mikroskopik görüntülerde mikrolunger oluşumları ve keskin çatlak çizgileri net bir şekilde görülmüş; bu da malzemenin enerji emici değil, kırılma bir yapıda olduğunu desteklemiştir.

Tüm test sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit yapı; süneklik, darbe dayanımı ve deformasyon kontrollü kırılma davranışı açısından DATT ve alüminyum yapılara göre daha avantajlı bir profil sergilemiştir. Bu yapı yalnızca mekanik

performans açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilirlik, maliyet ve çevre dostu malzeme kullanımını açısından da ön plana çıkmaktadır. Elde edilen bulgular, PET keçe bazlı yapıların ticari araçlarda kullanılan geleneksel bulkhead çözümlerine alternatif olarak değerlendirilebileceğini ve Fit for 55 gibi çevresel hedefler doğrultusunda endüstriyel ölçekte uygulanabilir olduğunu ortaya koymaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, ticari araçlarda kullanılan ara bölme yapılarında geleneksel malzemeler dışında sürdürülebilir bir alternatifin mümkün olup olmadığını sorgulamak amacıyla yapılmıştır. Geri dönüştürülmüş PET keçe bazlı kompozit yapı hem çevresel açıdan hem de mekanik performans bakımından dikkat çekici sonuçlar vermiştir. Üretim kolaylığı, düşük enerji ihtiyacı ve yeniden işlenebilir olması gibi avantajlarıyla, yeni nesil malzeme çözümleri arasında yer alabileceği önerilebilir.

Elde edilen bulgular, bu yapının sadece laboratuvar koşullarında değil, gerçek araç uygulamalarında da karşılık bulabileceğini göstermiştir. Malzemenin performansı kadar bu sürece katkı sunan yaklaşımları önem arz etmektedir. Bu yönüyle bakıldığında, çalışma hem mühendislik pratiğine hem de çevresel farkındalığa katkı sağlayan bir örnek oluşturmaktadır.

Bu süreçte sundukları destek, test olanakları ve üretim altyapısıyla çalışmanın hayata geçirilmesine katkı sağlayan Farform Otomotiv Ar-Ge Merkezi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Olejnik, Krzysztof, Józef Stokłosa, and Grzegorz Woźniak. "Ocena wymagań w zakresie dostosowania przebudowy samochodu osobowego do funkcji samochodu ciężarowego." *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 15.5 (2014): 96-99.
- [2] Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28.
- [3] Owen, M. M., Achukwu, E. O., Hazizan, A. M., Romli, A. Z., & Ishiaku, U. S. (2022). Characterization of recycled and virgin polyethylene terephthalate composites reinforced with modified kenaf fibers for automotive application. *Polymer Composites*, 43(11), 7724-7738.
- [4] Singh, A. K., Bedi, R., & Kaith, B. S. (2021). Composite materials based on recycled polyethylene terephthalate and their properties—A comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*, 219, 108928.
- [5] Chen, D., Cheng, P. ve Wang, R., Properties of Light Weight Reinforced Thermoplastic (LWRT) with Different Formulations Produced in a Wet-Laid Process, Hanwha Azdel Inc., SPE ACCE Conference, 2019.
- [6] Kim, R., Wang, R. ve Mason, M. O., Development of a Novel Light Weight Reinforced Thermoplastic (LWRT) for Automotive Applications, Hanwha Azdel Inc., SPE ACCE Conference, 2020.
- [7] Fang, Xun, Chunyin Shen, and Gance Dai. "The influence of compatibilizers on the structure and mechanical properties of lightweight reinforced thermoplastics." *Polymer Composites* 39.7 (2018): 2212-2223.
- [8] Trzepieciński, T., & Najm, S. M. (2024). Current Trends in Metallic Materials for Body Panels and Structural Members Used in the Automotive Industry. *Materials*, 17(3), 590. <https://doi.org/10.3390/ma17030590>
- [9] Ovaere, M., & Proost, S. (2022). Cost-effective reduction of fossil energy use in the European transport sector: An assessment of the Fit for 55 Package. *Energy Policy*, 168, 113085.
- [10] Volpe, Valentina, et al. "Characterization of recycled/virgin polyethylene terephthalate composite reinforced with glass fiber for automotive applications." *Journal of Composites Science* 6.2 (2022): 59.
- [11] European Commission, Revision of the End-of-Life Vehicles Directive – Inception Impact Assessment, 2022. https://ec.europa.eu/environment/waste/elv/pdf/2022_elv_inception_impact_assessment.pdf (Erişim tarihi: 20.06.2025)

- [12] Rdele, K., & Wolf, M. (2023). Identification and reduction of product carbon footprints: Case studies from the Austrian Automotive Supplier Industry. *Sustainability*, 15(20), 14911.
- [13] Atakan, R., Sezer, S. ve Karakas, H. (2020). İyileştirilmiş aşınma direncine sahip geri dönüştürlmüş PET liflerinden yapılmış dokusuz otomotiv halılarınin geliştirilmesi. *Endüstriyel Tekstiller Dergisi*, 49 (7), 835-857.
- [14] Orkhonbaatar, Z., Lee, D. W., MN, P., & Song, J. I. (2024). Mechanical behavior analysis of polypropylene composites with waste PET felt fibers. *Polymer Engineering & Science*, 64(2), 706-717.
- [15] MATSUO, T. Automotive applications. In: *Polyesters and polyamides*. Woodhead Publishing, 2008. p. 525-541.
- [16] YU, N., KIM, K. Y., & PARK, J. S. (2024, October). A study on the multi layers of automotive interior trim parts to improve the acoustic performance with microfiber applied to the surface layer. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 270, No. 7, pp. 4269-4271). Institute of Noise Control Engineering.
- [17] Godano, P., Taylor, J., Bregeon, P., Caprioli, D., Mazzarella, L., Funda, P., ... & Clara, S. (2021). High performance sustainable materials for automotive applications: dream or reality?. In *Vehicles of Tomorrow 2019: Concepts-Materials-Design* (pp. 139-155). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [18] Jagadeesh, P., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., Puttegowda, M., Thiagamani, S. M. K., Hemath Kumar, M., ... & Moure Cuadrado, M. M. (2022). Sustainable recycling technologies for thermoplastic polymers and their composites: A review of the state of the art. *Polymer Composites*, 43(9), 5831-5862.
- [19] Mallick, P. K. (2021). Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures. In *Materials, design and manufacturing for lightweight vehicles* (pp. 187-228). Woodhead Publishing.
- [20] Vieyra, H., Molina-Romero, J. M., Caldern-Nájera, J. D. D., & Santana-Díaz, A. (2022). Engineering, recyclable, and biodegradable plastics in the automotive industry: a review. *Polymers*, 14(16), 3412.

%100 GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ PET KEÇE KOMPOZİT YAPILARININ KOZMETİK PERFORMANS ANALİZİ

Didem Elif SOYDAN

Farform Otomotiv San. Tic. A.Ş., ydidemelif@gmail.com- 0009-0008-8894-9275

Prof .Dr.Hasan KAYA

Kocaeli Üniversitesi Hereke Asım Kocabıyık Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri, Metalurji Programı, hasan.kaya@kocaeli.edu.tr- 0000-0002-4461-8764

ÖZET

Bu çalışma, ticari araçlarda sürücü ve yük bölmesini ayıran ara bölme (bulkhead) yapılarında kullanılmak üzere geliştirilen, %100 geri dönüştürülmüş PET (Polietilen Tereftalat) keçe ve EVA (*Etilen Vinil Asetat*) film içeren çok katmanlı kompozit bir yapının kozmetik ve çevresel performansını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Geliştirilen yapı, literatürde ilk kez bulkhead uygulaması için tasarlanmış ve sıcak presleme (termokompresyon) yöntemiyle üretilmiştir. Bu yönüyle, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlaması açısından yenilikçi bir malzeme çözümü sunmaktadır.

Yapının performans değerlendirmesi kapsamında, otomotiv alanında iç ortam uygulamaları için kritik öneme sahip kozmetik testlere tabii tutulmuştur. Bu testler arasında fotometrik buharlaşma (fogging), iç koku, kısa süreli çevresel yaşlandırma ve uzun süreli ısıl çevrim testleri yer almaktadır. SAE (Society of Automotive Engineers) J1756 standardına göre gerçekleştirilen fogging testinde yapı, 16 saatlik çevrim sonrası ortalama %83,81 ışık geçirgenliği ile kabul kriteri olan %70 sınırını aşmıştır. ISO 12219'a benzer prosedüre göre yapılan koku testinde ise uzman panel değerlendirmesi sonucu ortalama 1,1 puan ile "hafif koku" sınıfında yer almış ve kabul edilebilir bulunmuştur. FLTM BO 040-01 Prosedür A uyarınca gerçekleştirilen kısa süreli çevresel yaşlandırma testinde yapı, gri skala 5 ile maksimum görsel stabilite göstermiş; uzun süreli ısı çevrimi (Prosedür B) sonunda ise yalnızca hafif renk değişimi gözlemlenmiş ve gri skala değeri 4/5 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular hem teknik uygunluk hem de iç ortam koşullarına dayanıklılık açısından geliştirilen PET keçe bazlı yapının, geleneksel cam elyaf katkılı yapılara karşı çevreci ve fonksiyonel bir alternatif olarak ticari araç sektörüne kazandırılabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülebilir malzeme, kompozit bulkhead, kozmetik test, PET keçe, çevresel yaşlandırma.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MECHANICAL PERFORMANCE OF BULKHEADS FOR N2 CLASS COMMERCIAL VEHICLES

ABSTRACT

This study aims to evaluate the cosmetic and environmental performance of a multilayer composite structure developed for use in bulkhead applications that separate the driver and cargo compartments in commercial vehicles. The developed structure consists of 100% recycled polyethylene terephthalate (PET) felt and ethylene-vinyl acetate (EVA) film. Designed specifically for bulkhead applications for the first time in the literature, the structure was manufactured using the hot-pressing (thermocompression) method. In this respect, it offers an innovative material solution that contributes to environmental sustainability goals.

As part of the performance evaluation, the structure was subjected to cosmetic tests that are critical for interior automotive applications. These tests included photometric fogging, interior odor assessment, short-term environmental cycling, and long-term heat exposure tests. In the fogging test conducted in accordance with SAE (Society of Automotive Engineers) J1756, the structure achieved an average light transmittance of 83.81% after a 16-hour cycle, exceeding the 70% threshold. In the odor test, based on a procedure similar to ISO 12219, the expert panel assigned an average score of 1.1, classifying the odor as "slight" and within acceptable limits. In the short-term environmental aging test performed according to FLTM BO 040-01 Procedure A, the structure demonstrated maximum visual stability with a grey scale rating of 5. Following the long-term heat exposure test (Procedure B), only a very slight discoloration was observed, with a grey scale rating of 4/5.

The findings indicate that the developed PET felt-based structure offers a technically viable and environmentally friendly alternative to conventional glass fiber-reinforced structures, with sufficient durability under in-vehicle conditions. It presents a promising solution for the commercial vehicle sector in terms of both functionality and sustainability.

Keywords: Recyclable material, composite bulkhead, cosmetic testing, PET felt, environmental aging.

1. GİRİŞ

Otomotiv sektörü son yıllarda sadece performansa değil, aynı zamanda çevreye duyarlı üretim anlayışına da yönelmiş durumdadır. Bu değişimle birlikte, özellikle ticari araçlarda kullanılan bileşenlerin sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir ve insan sağlığına zararsız olması beklenmektedir [1]. Araçların sürücü kabiniyle yük bölümünü ayıran ara bölme (bulkhead) yapıları da bu kapsamda yeniden düşünölmeye başlanmıştır. Bu parçaların sadece sağlam ve dayanıklı olması yeterli görölmemektedir; aynı zamanda araç içindeki hava kalitesine, koku seviyesine ve genel konfora da katkı sunması gerekmektedir [2-4].

Arabölme amacıyla genel olarak günümüze kadar cam elyaf takviyeli termoplastik içerikli malzemeler kullanıldığı görölmektedir [5,19]. Ancak bu malzemelerin geri dönüşüm süreçleri zorlu, çevreye etkileri ise oldukça tartışmalıdır. Bu nedenle Avrupa Birliği'nin yayımladığı "Fit for 55" iklim paketi gibi düzenlemeler, otomotivde çevre dostu ve döngüsel kullanıma uygun malzemelere geçişi zorunlu hale getirmiştir [2, 6-8].

Bu çalışma, %100 geri dönüştürölmüş PET keçe ve EVA film kullanılarak geliştirilen çok katmanlı bir kompozit yapının, ticari araçlarda bulkhead parçası olarak kullanılabilirliğini değerlendirmektedir. Sıcak presle üretilen bu yapı, cam elyaf içermemesi sayesinde hem çevreye zararlı emisyonlardan kaçınmakta hem de fiziksel olarak tekrar geri dönüştürülebilir bir çözüm sunmaktadır [10-16].

Geliştirilen bu yapının üretim başarısı kadar, otomotiv ana sanayi tarafından kabul görebilmesi için iç mekâna uygunluk kriterlerini de sağlaması gerekmektedir [9]. Bu yüzden yapı üzerinde buharlaşma (Fogging), koku, kısa süreli çevresel yaşlandırma ve uzun süreli ısı çevrim testleri uygulanmıştır. Bu testler, malzemenin araç içinde yıllarca kullanıldığında göstereceği performansa dair fikir vermektedir [17-20].

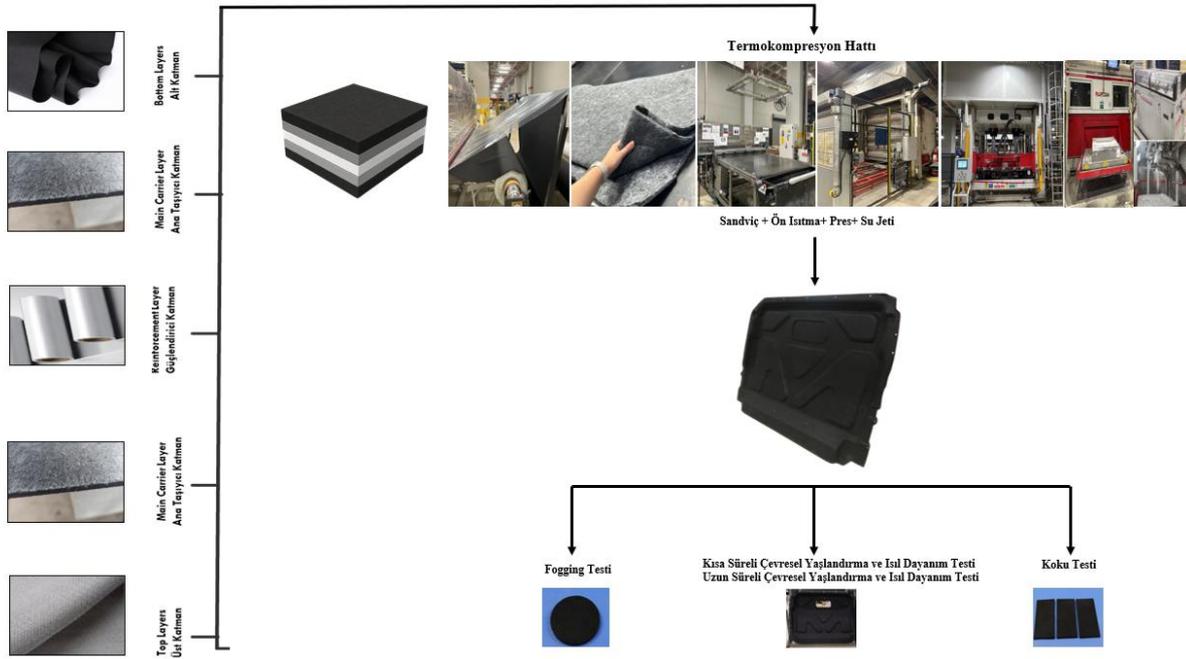
Çalışmanın temel amacı, sürdürülebilirlik anlayışıyla geliştirilen PET keçe yapının, yalnızca üretilebilirliğiyle değil; aynı zamanda estetik, konfor ve iç mekân uyumluluğuyla da geleneksel sistemlere karşı güçlü bir alternatif olup olmadığını ortaya koymaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Üretim Yöntemi

Bu çalışmada, N2 sınıfı ticari araçlar için geliştirilen çok katmanlı kompozit bir yapı değerlendirilmiştir. Yapının ana bileşenini, %100 geri dönüştürülmüş PET şişe atıklarından elde edilen keçe malzeme oluşturmuştur.

Çalışmada ana malzeme olarak kullanılan PET keçe, polietilen tereftalat (PET) esaslı liflerin özel işlemlerle keçeleştirilmesi sonucu elde edilen, lifli ve gözenekli yapıya sahip bir kompozit öncülüdür. Yapısında, %60 oranında geri dönüştürülmüş polyester elyaf ve %40 oranında düşük erime sıcaklığına sahip bağlayıcı (low-melt) elyaf bulunmaktadır. Kimyasal katkı içermeyen bu yapı, çevre dostu özellikleriyle öne çıkmaktadır. Malzeme, 12 mm nominal kalınlıkta olup $\pm 0,5$ mm toleransla üretilmektedir. İğneleme (needle-punch) yöntemiyle üretilen bu keçeler, yüksek lif yoğunluğu sayesinde darbe ve basınç altında formunu koruyabilme kabiliyetine sahiptir. PET katmanları arasında 100 mikron kalınlığında yerli üretim EVA film yer almıştır. Bu film, sadece katmanları birbirine tutturmakla kalmayıp, aynı zamanda yapıya belirli bir esneklik ve bütünlük kazandırmıştır. Görsel 1.'de geliştirilen kompozit ara bölme üretiminde kullanılan katmanlar ve işlem adımları verilmiştir.



Görsel 11. Geliştirilen Kompozit Ara Bölme Üretiminde Kullanılan Katmanlar ve İşlem Adımları

Kompozit yapı Farform Otomotiv San.Tic. A.Ş. kompozit üretim hattında termo-kompresyon (sıcak presleme) yöntemi ile üretilmiştir. Üretim aşamasında, keçe ve film katmanları alüminyum kalıp içine yerleştirilmiş, ardından bu istif 150–160 °C'ye kadar önceden ısıtılmış hava fırınında yaklaşık 20 dakika bekletilmiştir. Isıtılan yapı, daha sonra 150 ton kapasiteli soğuk pres altında 120 saniye boyunca basınca maruz bırakılmıştır. Bu yöntemle hem istenilen

kalınlık hem de katmanlar arası güçlü bir bağ sağlanmıştır. Nihai ürün, yaklaşık 6 mm kalınlığında ve 9,5 kg ağırlığında, simetrik dizilimli bir kompozit panel olarak elde edilmiştir.

Prototip üretim sürecinde farklı gramajlarda PET keçeler denenmiştir. Denemelerde 938 gsm, 1300 gsm ve 1800 gsm ağırlığında PET keçe kombinasyonları ile reçeteler hazırlanmış, katmanlar arasına 100 mikron kalınlığında laminasyon filmi yerleştirilmiştir. Alt ve üst yüzeylerde ise nonwoven kumaş katmanı da kullanılmıştır. Bunlar arasından 938 gsm + EVA + 938 gsm yapısı optimum performans gösterdiği için kozmetik testlere bu reçete ile devam edilmiştir. Katmanlar arasında kumaş gibi ek yüzey kaplamaları tercih edilmemiş, bu sayede ürünün tekrar geri dönüştürülebilme özelliği korunmuştur.

Elde edilen malzeme yapısının en temel farkı, geleneksel cam elyaf katkılı sistemlerden farklı olarak, cam elyaf içermemesi ve tamamen fiziksel geri dönüşüme olanak tanınmasıdır. Yapı, üretim sonrası öğütülerek yeniden keçe formuna getirilebilecek özellikte tasarlanmış ve bu yönüyle döngüsel ekonomi anlayışına olanak sağlamaktadır.

2.2. Uygulanan Testler ve Deneysel Yöntem

Geliştirilen çok katmanlı PET keçe kompozit yapının, ticari araçlarda kullanılmadan önce otomotiv iç ortam koşullarına uygunluğunun değerlendirilebilmesi için bir dizi kozmetik ve çevresel test gerçekleştirilmiştir. Bu testler, özellikle otomotiv ana sanayi tarafından yeni geliştirilen iç trim parçalarının onay süreçlerinde zorunlu tutulan ve kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen performans kriterlerine odaklanmaktadır. Çalışma kapsamında yalnızca laboratuvar ortamında ölçülebilen teknik veriler değil; aynı zamanda iç mekân estetiği, konforu ve kullanıcı sağlığı üzerinde dolaylı etkisi olan parametreler de göz önünde bulundurulmuştur.

2.2.1. Fotometrik Buharlaştırma (Fogging) Testi – SAE J1756

Bu çalışmada, test numunelerinin yüksek sıcaklık altında uçucu bileşik salınımı sonucu araç iç cam yüzeyinde buğulanmaya sebep olup olmadığını değerlendirmek amacıyla SAE J1756:2006 (Method A – Photometric Procedure) standardına uygun olarak fotometrik buharlaştırma (fogging) testi gerçekleştirilmiştir.

Test numunesi olarak, Ø80 mm çapında ve yaklaşık 6,43 mm kalınlığında üç adet PET keçe bazlı kompozit örnek kullanılmıştır (Görsel 2). Numuneler, 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında 24 saat doğal ortamda ön koşullandırmaya tabi tutulmuştur. Test ortamı ise $22,4$ °C sıcaklık ve $\%54,3$ bağıl nem düzeyindedir.

Test düzeneğinde; numunelerin altına yerleştirilen yağ banyosu $100 \pm 0,5$ °C'ye kadar ısıtılmış, üst cam plaka ise $21 \pm 0,5$ °C'de soğutularak buharlaştırma ve yoğunlaşma koşulları sağlanmıştır. Test süresi toplam 3 saat olarak uygulanmıştır. Ardından numuneler 21 ± 2 °C sıcaklıkta ve $\%50 \pm 5$ bağıl nemde 16 saatlik post-koşullandırma sürecine alınmıştır.

Fotometrik ölçümler, cam yüzeylerde 60° açıda parlaklık ölçümleri ile gerçekleştirilmiş ve cihaz olarak OPV007 model spektrofotometre kullanılmıştır.



Görsel 2. Fotometrik Buharlaşma (Fogging) Testi Numunesi

Çizelge 1. Fotometrik Buharlaşma (Fogging) Testi Sonuçları

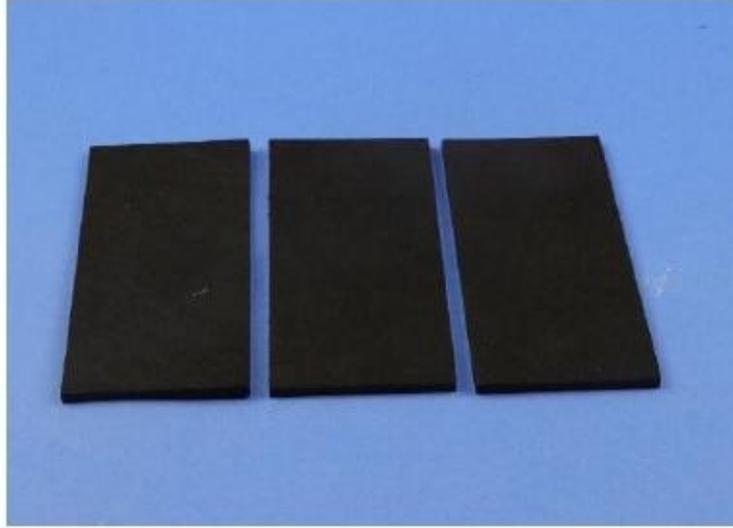
| Numune No | 1 Saat Sonrası Fogging (%) | 16 Saat Sonrası Fogging (%) |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | %65,58 | %80,57 |
| 2 | %80,92 | %86,80 |
| 3 | %80,20 | %84,08 |
| Ortalama | %75,57 | %83,81 |

Çizelge 1.'de verilen test sonuçlarına göre, 16 saatlik koşullandırma sonrası yapılan ölçümlerde, cam yüzeyde oluşan buğunun ışık geçirgenliği ortalama %83,81 olarak ölçülmüştür. Bu değer, sektörde kabul gören %70 ışık geçirgenliği eşik değerinin üzerinde olup, PET keçe bazlı kompozit yapıların araç iç ortam hava kalitesi açısından olumlu bir performans sergilediğini göstermektedir.

2.2.2. İç Koku Testi – ISO 12219'a benzer (C1 varyantı)

Araç iç mekân konforunu etkileyen önemli parametrelerden biri olan koku testi, malzmeden yayılan uçucu bileşiklerin insan algısı üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma kapsamında, PET keçe bazlı yapının kokusal performansı, FLTM BO 131-03 (2017 05 31) test metoduna uygun olarak, C1 varyantı esas alınarak gerçekteşirilmiştir.

Deney için, Görsel 3.'de verilen ve boyutları 90 × 200 mm olan üç adet numune, 3 litrelik özel koku kavanozlarına yerleştirilmiş ve 23 ± 2 °C sıcaklıkta, deiyonize su ilavesiyle birlikte 24 saat boyunca kapalı ortamda bekletilmiştir. Numuneler öncesinde 23 ± 2 °C ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında 24 saatlik doğal ön koşullandırma işlemine tabi tutulmuştur.



Görsel 3. Koku (Odor) Testi

Çizelge 2. İç Koku (Odor) Testi Sonuçları

| Test No | Test Varyantı | Test Koşulları | Koku Değerlendirme Puanları | Ortalama Puan (Test Sonucu) |
|---------|---------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | C1 | 23 ± 2 °C / 24 saat | 1 – 1 – 1 – 1 – 1 – 1,5 (Hafif koku) | Ortalama 1,10 |

Çizelge 2.'de verilen test sonucuna göre, 6 kişilik uzman panel tarafından gerçekleştirilen kokusal değerlendirme sonucunda, PET keçe kompozit yapının kokusu bireysel puanlarla 1 – 1 – 1 – 1 – 1 – 1,5 şeklinde değerlendirilmiş ve ortalama 1,1 puan elde edilmiştir. Bu değer, test metodu gereği “hafif koku (slight smell)” sınıfına karşılık gelmekte olup, otomotiv endüstrisinde kabul gören <3 puanlık eşik değerinin oldukça altında kalmıştır.

Bu sonuç, test edilen yapının kullanıcıyı rahatsız etmeyecek düzeyde kokusal özelliklere sahip olduğunu ve araç iç ortam kalitesi açısından uygun olduğunu göstermektedir.

2.2.3. Kısa Süreli Çevresel Yaşlandırma Testi – FLTM BO 040-01 (Prosedür A)

Bu test, malzemenin ani sıcaklık değişimleri ve nem oranlarındaki dalgalanmalara karşı gösterdiği fiziksel dayanımı değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. PET keçe bazlı yapıya ait Görsel 4. 'de verilen test numunesi, FLTM BO 040-01 standardına uygun olarak Prosedür A kapsamında test edilmiştir (Çizelge 3). Test öncesinde numune, 23 ± 2 °C sıcaklık ve %50 ± 5 bağıl nem ortamında 24 saat süreyle doğal koşullandırmaya tabi tutulmuştur.

Test süresince numune; -30 °C, +100 °C ve %50 ila %95 bağıl nem değerleri arasında değişen çevresel koşullara maruz bırakılmıştır. Bu çevrimlerde düşük sıcaklık, yüksek sıcaklık ve nem geçişleri kontrollü olarak uygulanmış, her bir iklimsel etki arasında 23 ± 2 °C sıcaklıkta ve %50

bağlı nemde dengeleme adımları eklenmiştir. Tüm döngülerin toplam süresi yaklaşık 42,8 saat olup, her çevrim geçişi 0,5 °C/dakika ısı geçiş hızıyla gerçekleştirilmiştir.



Görsel 4. Kısa Süreli Çevresel Yaşlandırma ve Isıl Dayanım Testi Görseli

Çizelge 3. FLTM BO 040-01/Procedure A Test Sonucu

| Gözlem | Gri Skala Değeri | Değerlendirme |
|---|--------------------------|--------------------------|
| Görsel değerlendirme sonrası renk değişimi gözlenmedi | 5 (en iyi seviye) | Renk Değişimi Yok |

Test sonunda, yüzeyde çatlama, kabarma, ayrışma ya da renk değişimi gibi olumsuz fiziksel deformasyonlara rastlanmamıştır. Yapılan görsel değerlendirme sonucunda, ISO 105-A02 standardına göre belirlenen gri skala derecesi 5 olarak ölçülmüştür. Bu değer, renk stabilitesinde en yüksek seviyeyi temsil etmektedir. Elde edilen bu sonuç, PET keçe bazlı kompozit yapının mevsimsel sıcaklık geçişleri ve araç içi ani iklim farklılıklarına karşı oldukça dayanıklı bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

2.2.4. Uzun Süreli Isıl Dayanım Testi – FLTM BO 040-01 (Prosedür B)

Araçların uzun süre güneş altında park halinde kalması gibi kullanım senaryolarında, iç mekân bileşenlerinin yüksek sıcaklıklara maruz kalması kaçınılmazdır. Bu çalışmada, PET keçe bazlı

yapının bu koşullar altındaki davranışı, FLTM BO 040-01 standardının Prosedür B versiyonuna göre değerlendirilmiştir.

Görsel 5.' de verilen test numunesi (LT1), test öncesinde 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ bağıl nem koşullarında 24 saatlik doğal koşullandırmaya tabi tutulmuştur. Ardından numune, herhangi bir bağıl nem koşulu uygulanmaksızın, 7 gün boyunca sabit olarak 100 ± 2 °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Süreç sonunda, yüzeyde meydana gelebilecek olası deformasyonlar, ayrışmalar ya da renk değişimleri görsel olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4).



Görsel 5. Uzun Süreli Çevresel Yaşlandırma ve Isıl Dayanım Testi Görseli

Çizelge 4. FLTM BO 040-01 / Procedure B Test Sonucu

| Gözlem | Gri Skala Değeri | Değerlendirme |
|---|------------------|-------------------------|
| Çok hafif renk değişimi gözlemlenmiştir | 4/5 | Çok hafif renk değişimi |

ISO 105-A02 standardı ve AATCC Procedure 1'e uygun biçimde yapılan inceleme sonucunda, yalnızca çok hafif düzeyde renk değişimi tespit edilmiş ve bu durum gri skala üzerinden 4/5 puanı ile derecelendirilmiştir. Bu değer, yapı yüzeyinin ısı etkiler karşısında genel bütünlüğünü ve estetik görünümünü büyük ölçüde koruduğunu göstermektedir. Dolayısıyla PET keçe bazlı kompozit yapının, uzun süreli yüksek sıcaklık koşullarına karşı dayanım gösterdiği ve araç içi uygulamalar açısından uygunluk sağladığı sonucuna varılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan testler sonucunda elde edilen bulgular, geliştirilen PET keçe + EVA film bazlı kompozit yapının otomotiv iç ortam uygulamaları için teknik açıdan kabul edilebilir bir performans sergilediğini göstermektedir.

Fogging testinde, PET keçe yapısı 16 saatlik depolama sonrası ortalama %83,81 ışık geçirgenliği göstermiş ve bu değer SAE J1756 standardındaki %70 sınırının oldukça üzerinde yer almıştır. İç koku testinde ise koku şiddeti ortalama 1,1 puanla “hafif koku” sınıfında değerlendirilmiş ve kabul kriterlerini sağlamıştır.

Çevresel yaşlandırma testlerinde, kısa süreli ısı ve nem koşullarına karşı PET yapı, görsel deformasyon ve renk değişimi göstermemiştir (Gri skala: 5/5). Uzun süreli çevrim testinde ise sadece hafif renk değişimi tespit edilmiştir (Gri skala: 4/5) ve yapısal bütünlük korunmuştur.

Özellikle kullanıcı sağlığı ve konforu ile doğrudan ilişkili olan fogging ve koku testlerinden alınan düşük salınım değerleri, yapının iç mekân hava kalitesini olumsuz yönde etkilemeyeceğini ortaya koymuştur. Işık geçirgenliği bakımından ölçülen değer, sektör standartlarının üzerinde bir netlik sunarken; koku testinde elde edilen düşük puan da kokusal anlamda rahatsızlık yaratmayan, kullanıcı dostu bir yapı elde edildiğini kanıtlamaktadır.

Çevresel yaşlandırma testlerinde, hem kısa vadeli sıcaklık-nem çevrimleri hem de uzun süreli ısı maruziyet karşısında yapının yüzey bütünlüğünü koruduğu, renk değişimi veya gözle görülür bir deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiştir. Gri skala derecelerinin yüksek seviyede çıkması hem estetik hem de yapısal dayanıklılık açısından olumlu bir tablo sunmaktadır. Bu durum, özellikle araçların farklı iklim koşullarına maruz kalabileceği uzun süreli kullanımlarda yapının kararlılığını koruyacağına işaret etmektedir. Aynı zamanda bu yapı, Avrupa Birliği'nin Fit for 55 stratejisine uyumlu olarak geri dönüştürülebilir malzeme kullanımını teşvik etmesi bakımından, otomotiv sektöründeki dönüşüme anlamlı bir katkı sunmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, sürdürülebilirlik unsurlarını teknik yeterlilikle buluşturan bir malzeme çözümünün, otomotiv sektörü gibi yüksek regülasyonlu bir alanda ne ölçüde uygulanabilir olduğunu ortaya koymayı hedeflemiştir. Elde edilen bulgular, %100 geri dönüştürülmüş PET keçe ve EVA film katmanlarından oluşan kompozit yapının, yalnızca çevresel avantajlarıyla değil, aynı zamanda kullanıcı odaklı performans kriterlerini karşılama kapasitesiyle de öne çıktığını göstermektedir.

Fogging, koku, kısa ve uzun süreli çevresel yaşlandırma gibi iç ortam koşullarını doğrudan ilgilendiren testlerden başarıyla geçen yapı, klasik cam elyaf katkılı sistemlere karşı güçlü bir alternatif sunmaktadır. Üstelik bu başarı, herhangi bir kimyasal yüzey kaplama veya toksik bileşen kullanılmadan, fiziksel dönüşüme uygun bir malzeme elde edilmiştir.

Bu doğrultuda, çalışmanın yürütülmesine sundukları altyapı desteği, üretim süreçlerine katkı ve test altyapısı açısından sağladıkları imkanlar dolayısıyla Farform Otomotiv Ar-Ge Merkezi'ne içtenlikle teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] González, J. Z., Mejía, C. P., Valdés, A. M. N. ve da Silva, R. F., *The Importance of Environmental Awareness in the Automotive Sector*, EDULEARN24 Bildiri Kitabı, ss. 5121-5126, IATED, 2024.
- [2] Wei, G., Xiao, Y., Wang, J., Gao, K., Gao, P., Lu, C. ve Yang, X., “Environmental chamber analysis of objective volatile organic compounds emissions and subjective olfactory perception from main automotive interior components”, *Building and Environment*, Cilt 266, s.112136, 2024.
- [3] Olejnik, K., Stokłosa, J. ve Woźniak, G., “Ocena wymagań w zakresie dostosowania przebudowy samochodu osobowego do funkcji samochodu ciężarowego”, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, Cilt 15, Sayı 5, ss. 96-99, 2014.
- [4] Prado, K. S., Strangl, M., Pereira, S. R., Tiboni, A. R., Ortner, E., Spinacé, M. A. ve Buettner, A., “Odor characterization of post-consumer and recycled automotive polypropylene by different sensory evaluation methods and instrumental analysis”, *Waste Management*, Cilt 115, ss. 36-46, 2020.
- [5] Chen, D., Cheng, P. ve Wang, R., *Properties of Light Weight Reinforced Thermoplastic (LWRT) with Different Formulations Produced in a Wet-Laid Process*, Hanwha Azdel Inc., SPE ACCE Konferansı Bildiri Kitabı, 2019.
- [6] Ovaere, M. ve Proost, S., “Cost-effective reduction of fossil energy use in the European transport sector: An assessment of the Fit for 55 Package”, *Energy Policy*, Cilt 168, s.113085, 2022.
- [7] Volpe, V., Scalici, T., Fiore, V. ve Badagliacco, D., “Characterization of recycled/virgin polyethylene terephthalate composite reinforced with glass fiber for automotive applications”, *Journal of Composites Science*, Cilt 6, Sayı 2, s.59, 2022.
- [8] European Commission, *Revision of the End-of-Life Vehicles Directive – Inception Impact Assessment*, 2022.
Erişim adresi:
https://ec.europa.eu/environment/waste/elv/pdf/2022_elv_inception_impact_assessment.pdf (Erişim tarihi: 20.06.2025)
- [9] Wellbrock, W., Ludin, D., Röhrle, L. ve Gerstlberger, W., “Sustainability in the automotive industry, importance of and impact on automobile interior–insights from an empirical survey”, *International Journal of Corporate Social Responsibility*, Cilt 5, ss. 1-11, 2020.
- [10] Atakan, R., Sezer, S. ve Karakas, H. (2020). İyileştirilmiş aşınma direncine sahip geri dönüştürülmüş PET liflerinden yapılmış dokusuz otomotiv halılarının geliştirilmesi. *Endüstriyel Tekstiller Dergisi*, 49 (7), 835-857.

- [11] Orkhonbaatar, Z., Lee, D. W., MN, P., & Song, J. I. (2024). Mechanical behavior analysis of polypropylene composites with waste PET felt fibers. *Polymer Engineering & Science*, 64(2), 706-717.
- [12] Krauklis, A. E., Karl, C. W., Gagani, A. I., & Jørgensen, J. K. (2021). Composite material recycling technology—state-of-the-art and sustainable development for the 2020s. *Journal of Composites Science*, 5(1), 28.
- [13] Owen, M. M., Achukwu, E. O., Hazizan, A. M., Romli, A. Z., & Ishiaku, U. S. (2022). Characterization of recycled and virgin polyethylene terephthalate composites reinforced with modified kenaf fibers for automotive application. *Polymer Composites*, 43(11), 7724-7738.
- [14] Singh, A. K., Bedi, R., & Kaith, B. S. (2021). Composite materials based on recycled polyethylene terephthalate and their properties—A comprehensive review. *Composites Part B: Engineering*, 219, 108928.
- [15] Sehanobish, K. (2009). Engineering plastics and plastic composites in automotive applications (Vol. 122). SAE International.
- [16] Matsuo, T. (2008). Automotive applications. In *Polyesters and polyamides* (pp. 525-541). Woodhead Publishing.
- [17] ISO 105-A02, *Textiles — Tests for Colour Fastness — Part A02: Grey Scale for Assessing Change in Colour*, International Organization for Standardization, 1993.
- [18] ISO 12219-1, *Interior Air of Road Vehicles — Part 1: Whole Vehicle Test Chamber — Specification and Method for the Determination of Volatile Organic Compounds in Cabin Interiors*, International Organization for Standardization, 2012.
- [19] SAE International, *SAE J1756: Determination of the Fogging Characteristics of Interior Automotive Materials*, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 2006.
- [20] FLTM BO 040-01, *Environmental Cycling and Heat Resistance Test Method*, Ford Motor Company Internal Test Procedure, 2022.

CAM TOZU VE LİF TAKVİYELİ BETONLARDA SÜLFÜRİK ASİT ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İnş. Yük. Müh. Yelid BÜYÜKKURT

Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department
of Civil Engineering, Osmaniye, yelidbuyukkurt@gmail.com

ORCID:0000-0001-9078-2891

Doç. Dr. Behçet DÜNDAR

Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department
of Civil Engineering, Osmaniye, behcetdundar@osmaniye.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0724-9469

Dr. Öğr. Üyesi Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI

Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department
of Civil Engineering, Osmaniye, emriyecinar@osmaniye.edu.tr

ORCID: 0000-0002-9435-2968

ÖZET

Çimento üretiminin çevresel etkileri alternatif bağlayıcı malzemelere olan ihtiyacı arttırmıştır. Yapılan araştırmalarda Cam Tozu'nun (CT) betonun taze haldeki özellikleri ve mekanik dayanımı üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmada, CT ikameli lifli betonların asit etkisi altında mühendislik özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada 28 gün boyunca standart kür havuzunda bekletilen betonların su emme ve porozite değerleriyle basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımları belirlenmiştir. 28 günlük kürlenme süresini tamamlamış numuneler, Sülfürik Asit (SA) çözeltisine maruz bırakılarak su emme, porozite, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımında meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Beton karışımında CEM I 42.5 R Portland çimentosu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında CT, 0-4 mm kırma kum ve 4-16 mm tane boyutlarına sahip kırma taş agregası, 1 kg/m³ sabit oranda Cam Lif (CL) ve Bazalt Lif (BL) kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.45 olarak sabitlenmiş ve ağırlıkça %1.2 oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkı karışıma eklenmiştir. Asit etkisinin gözlemlenebilmesi için 1 Molar SA çözeltiler hazırlanmıştır ve düzenli olarak pH metre kullanılarak kontrol edilmiştir. CT ilavesiyle birlikte asit etkisi altında betonların dayanım kayıplarının azaldığı, özellikle lif ilavesiyle ise yarmada çekme dayanımlarında meydana gelen kayıpların azaldığı görülmüştür. Sonuçlar, çimento endüstrisinde çevre dostu alternatiflerin önemini vurgularken, betonun asite karşı dayanıklılığını artırmak için cam tozu ve lif kullanımının etkilerini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cam Tozu, Mineral Katkı, Lifli beton, Asit Etkisi

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFURIC ACID ON GLASS POWDER AND FIBER REINFORCED CONCRETES

ABSTRACT

The environmental impacts of cement production have increased the need for alternative binding materials. Studies have shown that Glass Powder (GP) can have positive effects on the fresh properties and mechanical strength of concrete. In this study, the engineering properties of GP-substituted fiber concretes under the effect of acid were investigated. In the experimental study, the water absorption and porosity values, as well as the compressive strength and splitting tensile strength of concretes kept in a standard curing pool for 28 days, were determined. Samples that had completed the 28-day curing period were exposed to a Sulfuric Acid (SA) solution, and the changes in water absorption, porosity, compressive strength, and splitting tensile strength were investigated. CEM I 42.5 R Portland cement, cement with GP at 0%, 10%, 20% and 30% by weight, 0-4 mm crushed sand and crushed stone aggregate with 4-16 mm grain sizes, Glass Fiber (GF) and Basalt Fiber (BF) at a fixed rate of 1 kg/m³ were used in the concrete mixture. The water/cement ratio was fixed at 0.45, and 1.2% by weight of plasticizer chemical additive was added to the mixture. To observe the acid effect, 1 M SA solutions were prepared and regularly checked using a pH meter. It has been observed that with the addition of GF, the strength losses of concrete under the effect of acid are reduced, and especially with the addition of fiber, the losses in splitting tensile strength are reduced. The results emphasize the importance of environmentally friendly alternatives in the cement industry and reveal the effects of using glass powder and fiber to increase the resistance of concrete to acid.

Keywords: Glass Powder, Mineral Additive, Fibre Concrete, Acid Effect

1. GİRİŞ

İnşaat endüstrisinde sürdürülebilirlik, çevre dostu malzemelerin kullanımı ve karbon ayak izinin azaltılması, günümüzde giderek artan bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, yapılan araştırmalarda çimento gibi yüksek karbon emisyonuna sahip malzemelerin yerine alternatif bağlayıcı malzemelerin kullanılması ile çevresel etkileri en aza indirmek ve inşaat sektörünü daha sürdürülebilir hale getirmek amaçlanmıştır [1]. Çimento, inşaat malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, üretimi sırasında yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulması ve CO₂ emisyonunu artırması çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu durum, inşaat sektöründe çimento yerine alternatif bağlayıcı malzemelere olan ilgiyi artırmış ve araştırmacıları çevre dostu seçenekler arayışına itmiştir. Literatürdeki birçok çalışma, çeşitli malzemelerin beton karışımlarına eklenmesinin, betonun dayanıklılığını artırabileceğini ve çevresel etkilerini azaltabileceğini öne sürmektedir. Silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi malzemelerin beton içinde kullanımı, CO₂ salınımını azalttığı ve çimento kullanımını optimize ettiği yapılan araştırmalarda tespit edilmiştir [2,3]. Bu bağlamda, çimento yerine Cam Tozu (CT)'nin kullanılması, endüstriyel cam atıklarının değerlendirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli bir strateji sunmaktadır. CT, yüksek sıcaklıklarda eritilen camın

öğütülmesiyle elde edilen ince partiküllerden oluşan bir yan üründür. Bu malzeme, betonun hidratasyon reaksiyonlarına katılabilir ve bu sayede betonun mekanik özelliklerini etkileyebilir. Ancak, CT'nun boyutu, dağılımı ve dozajı gibi faktörler, malzemenin beton matrisi ile etkileşimini belirleyebilir [4-6]. Dolayısıyla, CT'nun beton performansına etkilerinin anlaşılması, çevresel açıdan sürdürülebilir beton üretiminde önemli bir adımdır [7,8].

Araştırmacılar, betonun mekanik özelliklerini güçlendirmek için çelik, polivinil alkol, polipropilen, polietilen, poliolefin, bazalt, karbon ve cam lifleri gibi farklı türlerdeki lifleri beton karışımına eklemektedir [9-11]. Yapılan çalışmalar, lif takviyeli betonların yüksek çatlak direncine, artan çekme dayanımına ve genel performanslarının iyileşmesine katkı sağladığını göstermektedir [12-15]. CL'leri, çekme dayanımını artırma, çatlakların genişlemesini kontrol etme ve enerji emilimini artırma yetenekleri ile öne çıkan inorganik takviye elemanlarıdır. Bu lifler, yüksek sıcaklıklarda eritilen camın çekme işlemlerinden geçirilmesiyle elde edilir ve homojen bir şekilde çimento matrisine dağıldığında, betonun mukavemetini ve dayanıklılığını artırabilir [16,17]. BL, dayanıklılıkları, yüksek ısı dirençleri ve kimyasallara karşı daha dirençli olmaları nedeniyle beton takviye malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Bu lifler, çimento matrisi içindeki çatlakların genişlemesini kontrol ederek betonun dayanıklılığını artırabilir. BL'lerinin beton içindeki homojen dağılımı, mekanik özelliklere ve dayanıklılık üzerindeki etkilerini belirlemede kritik bir faktördür [18].

Beton yapılarında sürdürülebilir tasarım ve kaliteli malzeme kullanılmasına rağmen çevresel faktörler ve yetersiz bakım nedeniyle hizmet ömürlerinde daha erken bozulmalar meydana gelebilmektedir [19]. Çimentonun hidratasyon ürünleri alkali olduğundan, çimento esaslı yapı malzemeleri asit ortamlarından kolayca etkilenebilirler. Bu nedenle çimento esaslı yapı malzemeleri sülfürik asit, nitrik asit ve hidroklorik asit gibi asitlere karşı dayanıksızdır. Günümüzde, kentsel faaliyetler ve endüstriyel üretimde asit kullanımının artması, çimento esaslı yapı malzemelerinin asit etkisi altında gösterdiği fiziksel ve mekanik özelliklerdeki kaybın daha fazla ilgi çekmesine neden olmuştur [20,21]. Sülfürik Asit (SA)'in betona etkisi, kılcal gözeneklerin oluşmasına ve betonun genişlemesine neden olabilir. Bu durum, betonun mekanik özelliklerinde azalmaya, çatlak oluşumuna ve dayanıklılığın düşmesine yol açabilir. Bu nedenle, asidik ortamlarda kullanılacak çimento esaslı yapı malzemelerinin seçimi ve geliştirilmesi, dayanıklılık ve çevresel direnç açısından büyük önem taşır [22,23].

Bu çalışmada, CT ikameli lifli betonların asit etkisi altında ağırlık ve dayanım değişimlerini incelenmektedir. Lifli betonların asit etkisi altındaki performansını değerlendirerek, çevresel etkilere karşı dayanıklılıklarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada beton numunelerinin üretilmesinde s/ç oranı 0.4 ve çimento dozajı 350 kg olarak sabit tutulmuştur. Beton karışımında çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında CT, 0-4 mm kırma kum ve 4-16 mm tane boyutlarına sahip kırma taş agregası, 1 kg/m³ sabit oranda CL ve BL kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.45 olarak sabitlenmiş ve ek olarak ağırlıkça %1.2 oranında akışkanlaştırıcı kimyasal katkı karışıma eklenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Çimento, numunelerin üretiminde bağlayıcı olarak TS EN 197-1 standartlarına uygun CEM I-42.5/R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır [24]. Bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Properties of CEM I 42.5 R cement

| Analiz | Oksit | Değer | Analiz | Deneyle | Değer |
|----------------------------|--------------------------------|-------|------------------------|-------------------------------|-------|
| Kimyasal Analiz Sonucu (%) | Al ₂ O ₃ | 5,65 | Fiziksel Analiz Sonucu | Fineness (cm ² /g) | 3400 |
| | SiO ₂ | 20,62 | | Beginning of Set (min) | 260 |
| | CaO | 62,08 | | Ending of Set (min) | 300 |
| | Fe ₂ O ₃ | 4,05 | | Hacim genişmesi, mm | 2,0 |
| | SO ₃ | 2,57 | | Yoğunluk, g/cm ³ | 3,12 |
| | MgO | 2,55 | | | |
| | Na ₂ O | 0,27 | Basınç Dayanımı | Gün | MPa |
| | Loss on ignition | 1,55 | | 2. gün | 32,5 |
| | Çözünmeyen Kalıntı | 0,30 | | 7. gün | 43,4 |
| | Diğer | 1,52 | | 28. gün | 53,6 |
| | | | | | |

Mineral katkı olarak kullanılan 0-63 mikron tane boyutuna sahip CT'nin özellikleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. CT'nin özellikleri

| Kimyasal Özellikler | Kimyasal Analiz | Analiz Sonuçları (%) |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| | SiO ₂ | 67.33 |
| CaO | 12.45 | |
| Na ₂ O | 12.05 | |
| MgO | 2.74 | |
| Al ₂ O ₃ | 2.62 | |
| Fe ₂ O ₃ | 1.42 | |
| Diğer | 0.95 | |
| Fiziksel Özellikler | Yoğunluk (gr/cm ³) | 2.42 |
| | Kızdırma kaybı (%) | 0.80 |
| | Özgül yüzey (m ² /kg) | 133 |
| | Ergime Derecesi (°C) | 730 °C |
| | pH Değeri | 5.6 – 7.5 |

Numune üretiminde TS EN 706 standartlarına uygun iki tip agrega kullanılmıştır [25]. İnce agrega olarak kırma kum (0-4 mm) tercih edilirken, iri agrega olarak kırma taş (4-12 mm) kullanılmıştır. Kırma kumun oranı %45 iken, kırma taşın oranı %55'tir. Karışımın incelik

modülü 3.839 olarak hesaplanmıştır. Çalışmada iki farklı lif türü kullanılmıştır. Kullanılan lifler 6 mm boyutlarında Cam Lif (CF) ve Bazalt Lif (BF)'tir. CL ve BL'e ait özellikler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. BL ve CL'ye ait özellikler

| Lif Çeşidi | Lif Boyu (mm) | Lif Çapı (µm) | Özgül Ağırlık (mg/m ³) | Elastisite Modülü (GPa) | Çekme Muvakemeti (GPa) |
|------------|---------------|---------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Cam Lif | 6 | 13 | 2.68 | 72 | 1.7 |
| Bazalt Lif | 6 | 9 – 23 | 2,60 – 2,80 | 89 | 4.83 |

Üretimde kullanılan su, TS EN 1008 standardına uygun Osmaniye ili şebeke suyudur [26]. Beton karışımlarının hazırlanmasında her bir karışım için sabit ve bağlayıcı miktarının %1.2'si oranında süper akışkanlaştırıcı (Fosroc Gantre 142) kimyasal katkı kullanılmıştır. Asit etkisi altında karışımların performansını incelemek için SA kullanılmıştır (Çizelge 5).

Çizelge 5. SA ait özellikler

| Özellik | Açıklama |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Formül | H ₂ SO ₄ |
| Molar kütle (g/mol) | 98.079 |
| Yoğunluk (g/cm ³) | 1.83-1.84 |
| Erime noktası (°C) | 10 |
| Kaynama noktası (°C) | 337 |
| Safılık (%) | 95-98 |

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler TS 802 standardına uygun olarak üretilmiştir [27]. Mineral katkı olarak çimento ile ağırlıkça farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) CT kullanılmıştır. Betonun çekme dayanımını artırmak, betonda lif etkisini incelemek ve iki farklı lif türünü karşılaştırmak amacıyla karışımlara 32 gr CL ve BL ilave edilmiştir. Ayrıca işlenebilirliği artırmak için, özgül ağırlığı 1.3 kg/dm³ olan bağlayıcı madde miktarının %1.2 oranında akışkanlaştırıcı katkı malzemesi dahil edilmiştir. Numunelerin üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 5'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 5. Numune üretimi için gerekli malzeme miktarları (kg/m³)

| İsim | Çimento | Cam Tozu | Su | Kırma Kum | Kırma taş | BL | CL | Kimyasal Katkı |
|-----------|---------|----------|-----|-----------|-----------|----|----|----------------|
| R | 400 | - | 167 | 990 | 833 | - | - | 5.66 |
| R-CL | | | | | | 1 | - | |
| R-BL | | | | | | - | 1 | |
| CT10 | 360 | 40 | | 982 | 826 | - | - | |
| CT10 – CL | | | | | | 1 | - | |
| CT10 – BL | | | | | | - | 1 | |
| CT20 | 320 | 80 | | 973 | 820 | - | - | |
| CT20 – CL | | | | | | 1 | - | |
| CT20 – BL | | | | | | - | 1 | |
| CT30 | 280 | 120 | | 965 | 813 | - | - | |
| CT30 – CL | | | | | | 1 | - | |
| CT30 – BL | | | | | | - | 1 | |

Numuneler, TS EN 12390-2 standardına uygun olarak 24 saat boyunca kalıplarda bekledikten sonra sıcaklığı 20 ± 2 °C ve %100 nem seviyesine sahip olan kür havuzundan 28 gün bekletilmiştir [28]. Betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı, 28 günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra hem de SA maruz bırakıldıktan sonra belirlenmiştir. TS EN 12390-3 ve TS EN 12390-6 standardına uygun olarak 2000 kN kapasiteli beton dayanımı cihazı kullanılarak yapılan deneyler, 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir [29,30].

SA'nın beton numuneleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, 28 günlük kürlenme süresini tamamlayan numuneler 28 gün boyunca 1 molarlık SA çözeltisine maruz bırakılmıştır. Bu asit çözeltisi, 5 litrelik kaplarda hazırlanmıştır. Çözeltinin pH değeri, pH metre ve pH test kâğıdı kullanılarak sürekli olarak kontrol edilmiştir. Asit çözeltisinde buharlaşmanın engellendiği hava almayacak şekilde kapalı plastik kaplara yerleştirilmiştir. Numuneler, asidik çözeltiye maruz bırakılarak sıkıca kapatılmıştır (Görsel 1). Numunelerin etüvdeki kuru ağırlıkları, kuru yüzey doygun ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Çözelti, belirli aralıklarla yenilenerek 25 ± 2 °C sıcaklıkta 4 hafta boyunca pH değerini 0'da tutulmuştur. 7 ve 28 gün süresince asidik çözeltisi içinde bekletilen numunelerin yüzeyinde beyaz, lapaya benzer bir madde gözlemlenmiştir. Numuneler, çözeltiden çıkarıldıktan sonra fırçalanmadan musluk suyuyla yıkanarak temizlenmiştir. Ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. SA çözeltisi içinde 7 ve 28 gün süresince bekletilen beton numunelerinin yüzeyleri temizlendikten sonra 105°C'deki etüvde 24 saat tutulmuştur. Numunelere basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri, laboratuvar ortamında soğutulduktan sonra standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

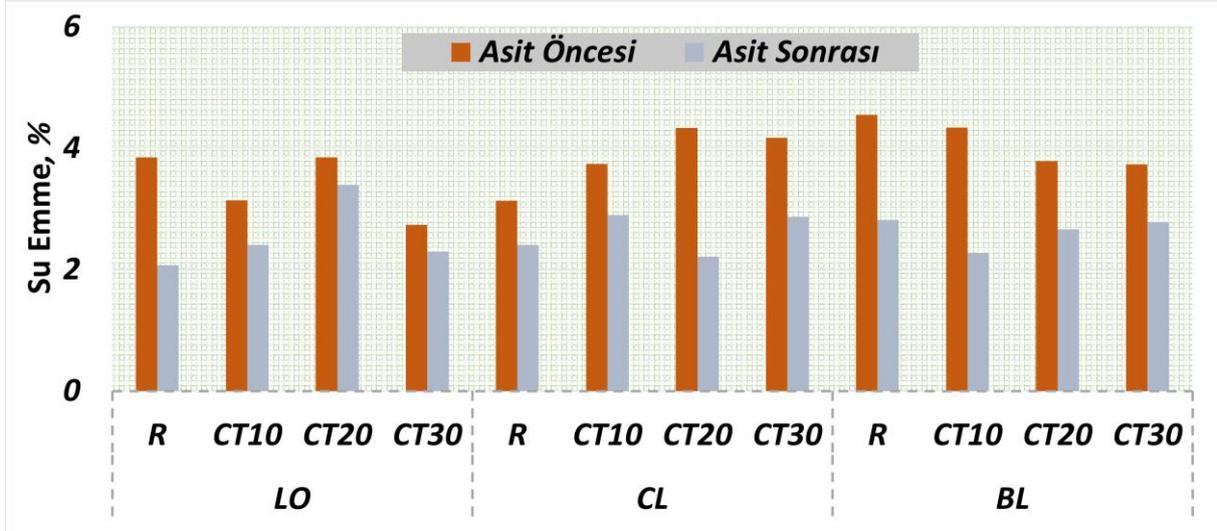


Görsel 1. Asit çözelti içerisinde numunelerin bekletilmesi

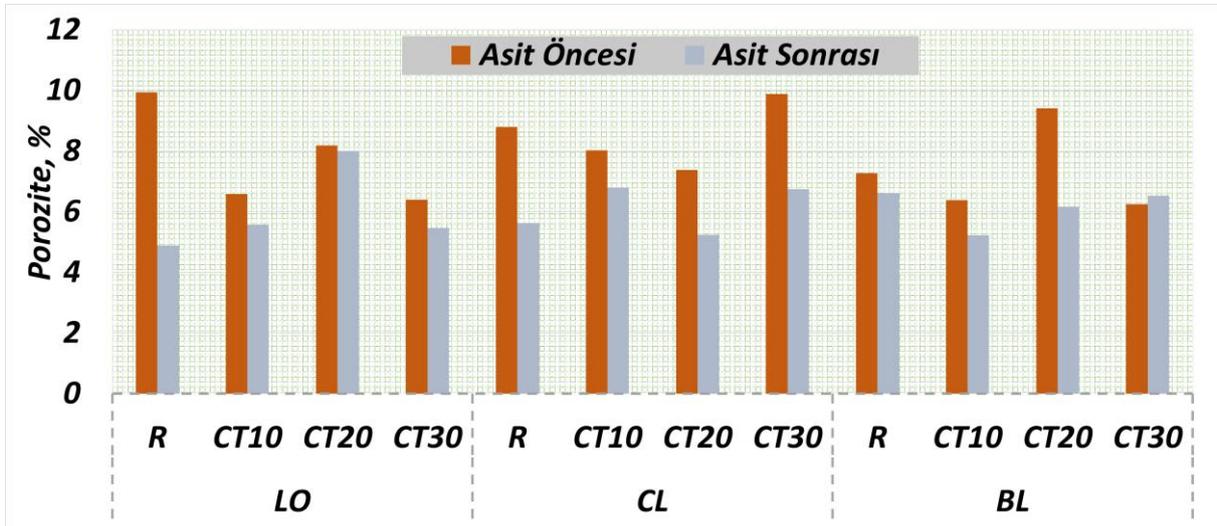
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Asit öncesi ve sonrası belirlenen su emme sonuçları Görsel 2’de, porozite sonuçları Görsel 3’te verilmiştir. Asit öncesinde Su emme değeri incelendiğinde %2.74 ile %3.85 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Asit öncesinde Porozite değerleri incelendiğinde, %6.35 ile %9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. En yüksek su emme ve porozite değeri R numunesinde kaydedilmiştir. CT'nin çimentoya göre daha ince bir malzeme olması nedeniyle, beton yüzeyindeki gözenekleri doldurarak suyun beton içine geçişini engellediği düşünülmektedir. Karışımlara CL ilave edilmesiyle, su emme ve porozite değerinde bir artışa neden olmuştur. Sebebinin CL ilave edilmesiyle beton yapısında boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. En yüksek su emme ve porozite değerinin CT20-CL karışımında olduğu tespit edilmiştir. Karışımlara BL ilave edilmesiyle benzer şekilde su emme ve porozite değerlerinde artış gözlenmiştir. En yüksek su emme ve porozite değerinin R-BL karışımında olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre, lif ilavesi betonun su emme özelliklerini etkilemektedir ve iki lif türü karşılaştırıldığında, CL içeren numunelerin BL içeren numunelere göre daha düşük su emme sonuçları verdiği görülmektedir. Bu sonuçlar, farklı lif türlerinin betonun su emme davranışını etkileyebileceğini ve CL'nin bu açıdan BL'ye göre daha iyi sonuç vereceğini göstermektedir.

Asit etkisi sonrasında tüm karışımlarda hem su emme hem de porozite değerlerinde belirgin bir azalma görülmüştür. CL ve BL serilerinde asit sonrası ölçülen su emme değerleri, asit öncesine kıyasla önemli ölçüde düşmüştür. Lif ilavesiyle asitte meydana gelen su emme ve porozite artışının arttığı gözlemlenmiştir. CT oranının artmasıyla birlikte su emme değerlerinde R karışıma göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Benzer şekilde porozite sonuçlarında da asit etkisiyle genel bir azalma eğilimi gözlenmiş, en düşük porozite değerleri CT20 ve CT30 katkı oranlarına sahip numunelerde belirlenmiştir. Bu durum, asit etkisiyle numune içerisindeki boşlukların kısmen dolması veya reaksiyon ürünleriyle gözenek yapısının daralması sonucu gözenekli yapının azalmasıyla açıklanabilir.



Görsel 2. Asit öncesi ve sonrası su emme deney sonuçları

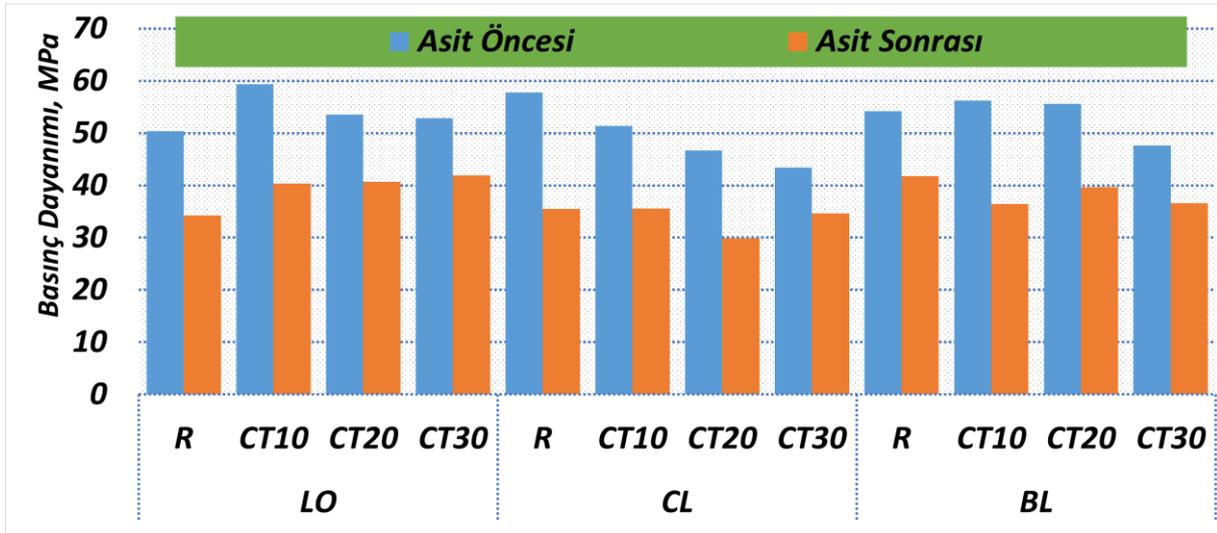


Görsel 3. Asit öncesi ve sonrası porozite deney sonuçları

Asit öncesi ve sonrası basınç dayanımı sonuçları Görsel 4'te verilmiştir. CT oranının arttıkça basınç dayanımı değerinde azalmalar görülse de bütün CT içeren karışımların basınç dayanımı değeri R numunesinden daha yüksek çıkmıştır. 28 günlük kür süresi sonunda en yüksek basınç dayanımı değeri CT10 karışımında olduğu tespit edilmiştir. CT miktarının artışıyla birlikte basınç dayanımı değerlerindeki azalmanın, beton içinde daha fazla boşluklu bir yapı oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Çınar, vd. (2020) çalışmasında da CT miktarının artmasıyla basınç dayanımının azaldığını belirtmiştir [31]. Karışıma CL ilave edilmesiyle birlikte CT miktarının artması, basınç dayanımı değerlerinde azalmalara neden olmuştur. CL ilave edilmesiyle en yüksek basınç dayanımı değeri R-CL karışımında gözlemlenmiştir. Karışıma BL ilave edilmesiyle, en yüksek basınç dayanımı değerinin CT10-BL karışımında olduğu %20 CT içeren numunede dahi R-BL'ye göre daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak basınç dayanımı değeri sonuçlarına bakıldığında CT içeren numunelerde BL'nin CL'ye göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Paktiawal ve Alam (2022), yapmış oldukları çalışmada BL'nin

CL'ye göre basınç dayanımı değerinin daha yüksek çıktığını belirtmiştir [18]. Asit etkisi altında CT içeren numunelerin R numunesine göre sırasıyla %18, %19 ve %22 oranlarında daha yüksek basınç dayanımı değerleri sergilediği tespit edilmiştir.

Karışıma CL ilave edildiğinde, basınç dayanımı değerlerinde azalmalar gözlenmiştir. CT10-CL numunesinin basınç dayanımı değerinin R-CL numunesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Asit etkisi altında dayanım kaybı incelendiğinde %38 ile en yüksek dayanım kaybının R-CL numunesinde olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, CT miktarı arttıkça asit içinde yüzdesel olarak daha az dayanım kaybına uğradığı hesaplanmıştır. Karışıma BL ilave edildiğinde, en yüksek basınç dayanımı değeri R-BL karışımında kaydedilmiştir. Asit etkisi altında dayanım kaybı incelendiğinde %35 ile en yüksek dayanım kaybının CT10-BL numunesinde olduğu hesaplanmıştır. CT miktarı arttıkça, benzer şekilde yüzdesel olarak daha az dayanım kaybına uğradığı gözlenmiştir. Sonuç olarak asit etkisi altında basınç dayanımı değerine bakıldığında, CT ile birlikte lif kullanımında BL'nin CL'e göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Bu durumun, BL'lerin CL'lere göre çekme dayanımları ve gerilme mukavemetlerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Görsel 4. Asit öncesi ve sonrası basınç dayanımı sonuçları

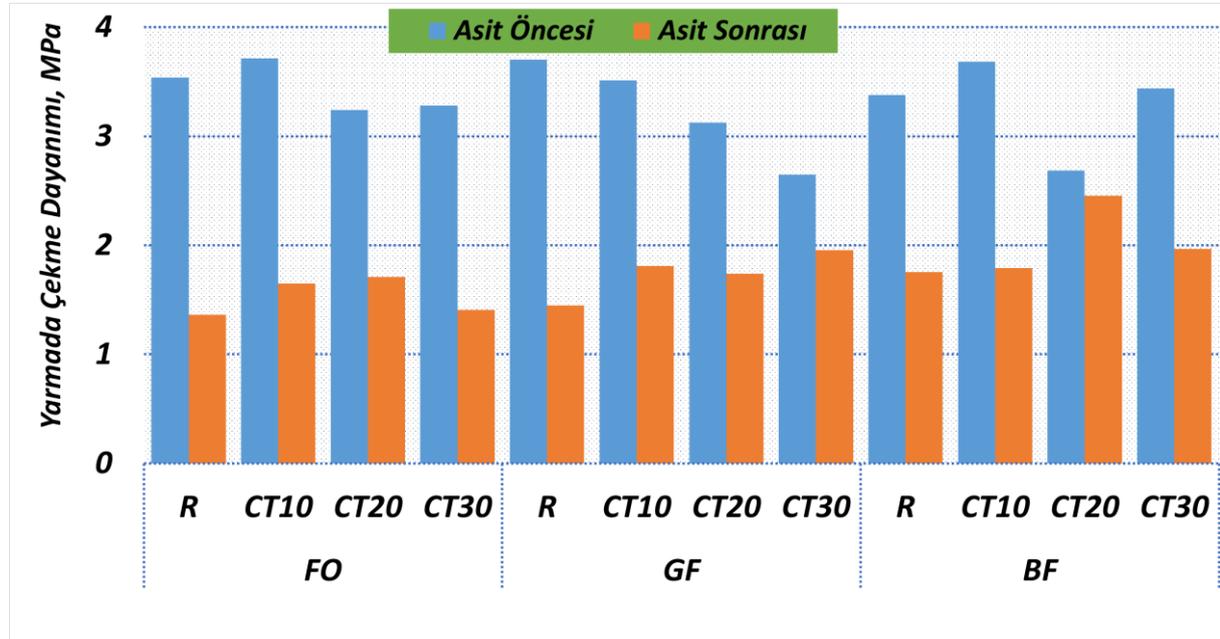
Asit öncesi ve sonrası yarmada çekme dayanımı sonuçları Görsel 5'te verilmiştir. Asit öncesi yarmada çekme dayanımlarının 3.32 ile 3.72 MPa arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek yarmada çekme dayanımı değerinin CT10 karışımında görüldüğü, CT miktarının artmasıyla birlikte, yarmada çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum, CT miktarının artmasıyla beton içinde daha fazla boşluklu yapı oluşabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Karışıma CL ilave edilmesiyle en yüksek değer R-CL numunesinde olduğu CT miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımı değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Karışıma BL ilave edilmesiyle birlikte en yüksek değer CT10-BL karışımında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak iki lif türü karşılaştırıldığında, BL içeren numunelerin CL içeren numunelere göre daha yüksek yarmada çekme dayanımı gözlemlenmiştir.

CT içeren numunelerin asit etkisi altında R numunesine göre %21, %25 ve %3 oranında daha yüksek yarmada çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Asit etkisi altında meydana gelen dayanım kaybı değerinin en yüksek olduğu karışım %61 ile R numunesinde olduğu gözlemlenmiştir. Karışıma CL ilavesiyle birlikte, CT içeren karışımlarda yarmada çekme dayanımı değerlerinin R-CL numunesine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek yarmada çekme dayanımı değeri CT30-CL numunesinde kaydedilmiştir. Karışıma BL ilavesiyle ise en yüksek yarmada çekme değerinin CT20-BL karışımında tespit edilmiştir.

Sonuç olarak asit etkisi altında yarmada çekme dayanımı deneye bakıldığında, asit içinde meydana gelen dayanım kaybının yüzdesel olarak BL içeren karışımlarda ortalama %41 iken CL içeren karışımlarda %43 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar asit etkisi altında BL'nin CL'ye göre daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.



Görsel 5. Asit öncesi ve sonrası yarmada çekme dayanımı sonuçları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, geri dönüştürülmüş CT ikameli CL ve BL takviyeli beton üretimleri gerçekleştirilerek asit etkisi altında su emme, porozite, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değişimleri incelemiştir. Çalışmanın ana bulguları şunlardır:

- En yüksek su emme ve porozite değeri R numunesinde kaydedilmiştir. CT ikamesiyle birlikte betonların su emme ve porozite değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. CT'nin çimentoya göre daha ince bir malzeme olması nedeniyle, beton yüzeyindeki gözenekleri doldurarak suyun beton içine geçişini engellediği sonucuna varılmıştır.
- Lif ilavesi betonun su emme özelliklerini etkilemektedir ve iki lif türü karşılaştırıldığında, CL içeren numunelerin BL içeren numunelere göre daha düşük su emme sonuçları verdiği görülmektedir. Asit etkisi sonrasında tüm karışımlarda hem su

emme hem de porozite değerlerinde belirgin bir azalma görülmüştür. CL ve BL serilerinde asit sonrası ölçülen su emme değerleri, asit öncesine kıyasla önemli ölçüde düşmüştür. Lif ilavesiyle asitte meydana gelen su emme ve porozite artışının arttığı gözlemlenmiştir.

- CT içeren karışımların genellikle yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Asit etkisi altında CT içeren karışımların referans numunesine göre daha iyi sonuç verdiği, karışımlara lif ilave edildiğinde ise basınç dayanımı değerinde azalmalar tespit edilmiştir. İki farklı lif karşılaştırıldığında ise bazalt lif içeren karışımların cam lif içeren karışımlardan daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür.
- En yüksek yarmada çekme dayanımı değerinin CT10 karışımında görüldüğü, CT miktarının artmasıyla birlikte, yarmada çekme dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Asit etkisiyle meydana gelen dayanım kaybının yüzdesel olarak BL içeren karışımlarda ortalama %41 iken CL içeren karışımlarda %43 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar asit etkisi altında BL'nin CL'ye göre daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, CT beton üretiminde sürdürülebilir bir alternatif olarak değerlendirilmelidir. Bu materyalin beton endüstrisinde daha fazla kabul görmesi ve kullanılması gerekmektedir. CT ile birlikte lif kullanımı, beton karışımlarının performansını etkileyebilir. Bu nedenle, lif türleri arasındaki optimize edilmiş oranların belirlenmesi için daha fazla araştırma yapılmalı ve liflerin homojen dağılımına özen gösterilmelidir. CT kullanımının asit dayanımını artırdığı göz önüne alındığında, özellikle asidik ortamlarda kullanılan beton karışımlarında CT kullanımı düşünülmelidir. Bu öneriler, CT kullanımının beton endüstrisindeki potansiyelini artırmak ve daha sürdürülebilir hale getirmek adına atılmış bir adım olabilir. Gelecekteki çalışmalar, CT kullanımının daha geniş çapta benimsenmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Wen, J., Wang, B., Dai, Z., Shi, X., Jin, Z., Wang, H., Jiang, X., New insights into the green cement composites with low carbon footprint: The role of biochar as cement additive/alternative, *Resources, Conservation and Recycling*, 197, 2023.
- [2] Miller, S. A., Horvath, A., Monteiro, P. J. M., Readily implementable techniques can cut annual CO2 emissions from the production of concrete by over 20%, *Environmental Research Letters*, 11(7), 074029, 2016.
- [3] Camacho, R. E. R., Afif, R. U., Importance of Using the Natural Pozzolans on Concrete Durability, *Cement and Concrete Research*. Elsevier, 32, 1851-1858, 2002.
- [4] Serpa, D., Santos Silva, A., De Brito, J., Pontes, J., Soares D., ASR of mortars containing glass. *Construct. Build. Mater.*, 47, 489-495, 2013.
- [5] Shayan, A., Xu, A., Value-added utilisation of waste glass in concrete, *Cement Concr. Res.* 34, 81-89, 2004.
- [6] Zidol, A., Tognonvi, M.T., Tagnit-Hamou, A., Effect of glass powder on concrete sustainability. *New J. Glass Ceram.*, 7, 34-47, 2017.
- [7] Nassar, R. U. D., Soroushian, P., Sufyan-Ud-Din, M., Long-term field performance of concrete produced with powder waste glass as partial replacement of cement, *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00745, 2021.

- [8] Asgarian, A., Roshan, N., Ghalehnovi, M., The Strength, Microstructure, and ecological assessment of concrete mix incorporating waste glass powder and polypropylene fiber, *Construction and Building Materials*, 371, 2023.
- [9] Li, B., Xu, L., Shi, Y., Chi, Y., Liu, Q., Li, C., Effects of fiber type, volume fraction and aspect ratio on the flexural and acoustic emission behaviors of steel fiber reinforced concrete, *Construct. Build. Mater.*, 181, 474-486, 2018.
- [10] Şimşek, O., Demir, Ş., Mermer tozu katkılı lifli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine lif tipi ve oranının etkisi, *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1043-1055, 2022.
- [11] Akın, S., Kaplan, A. N., Özel, C., Farklı Uzunluktaki Doğal Liflerin Beton Performansı Üzerine Etkileri, *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 80-84, 2022.
- [12] Zhang W., Analysis on methods of improving concrete performance. *China Sci Technol Inform*, 8, 96-97, 2011.
- [13] Valery, V., Vasiliev, E., Morozov, V., *Advanced Mechanics of Composite Materials and Structures (Fourth Edition)*, Elsevier, xvii-xxv, 2018.
- [14] Günaydın, O., Güçlüer, K., Bazalt Lifi Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 416-424, 2018.
- [15] Sim, J., Park, C., Moon, D., Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites: Part B*, 504–512, 2005.
- [16] Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., Hossain, A., Effect of glass powder on sulfuric acid resistance of cementitious materials, *Construction and Building Materials*, 113, 163-173, 2016.
- [17] Yassen, M. M., Hama, S. M., ve Mahmoud, A. S., Reusing of glass wastes as Powder as partial of cement in Production of Concrete. 2018 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE), 330-334, 2018.
- [18] Paktiawal, A., Alam, M., Experimental evaluation of sorptivity for high strength concrete reinforced with zirconia rich glass fiber and basalt fiber, *Materials Today: Proceedings*, 49(5), 1132-1140, 2022.
- [19] Qiu, P., Zhang, L., Li, Y., Li, B., Zhu, J., Ma, C., Bi, X., Yu, Y., Permeability evolution model of coarse porous concrete under sulphuric acid corrosion, *Construction and Building Materials*, 326, 126475, 2022.
- [20] Yurt, Ü., Dündar, B., Çınar, E., Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8, 1548-1561, 2020.
- [21] Bertron, A., Peyre Lavigne, M., Patapy, C., Erable, B., Biodeterioration of concrete in agricultural, agro-food and biogas plants: state of the art and challenges, *RILEM Technical Letters*, 83-89, 2017.
- [22] Xiao, J., Long, X., Qu, W., Li, L., Jiang, H., Zhong, Z., Influence of sulfuric acid corrosion on concrete stress–strain relationship under uniaxial compression, *Measurement*, 187, 110318, 2022.
- [23] Grengg, C., Mittermayr, F., Koraimann, G., Konrad, F., Szabo, M., Demeny, A., Dietzel, M., The decisive role of acidophilic bacteria in concrete sewer networks: a new model for fast progressing microbial concrete corrosion, *Cement and Concrete Research*, 93-101, 2017.

- [24] TS EN 197-1, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara Türkiye, 2012.
- [25] TS EN 706 EN12620 + A1 2009, Beton agregaları, TSE, Ankara Turkey, 2009.
- [26] TS EN 1008, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, TSE, Ankara, Türkiye, 2003.
- [27] TS EN 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara Turkey, 2016.
- [28] TS EN 12350-2, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara Türkiye, 2019.
- [29] TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin, TSE, Ankara Türkiye, 2019.
- [30] TS EN 12390-6, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara Türkiye, 2010.
- [31] Çınar, E., Dündar, B., Şahin, E., Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 17-23, 2020.

CAM TOZU TABANLI METAKAOLİN VE KALSİYUM ALÜMINAT İKAMELİ GEOPOLİMER KOMPOZİTLERDE ISIL KÜR SÜRESİ VE AKTİVATÖR ORANININ ETKİSİ

Öğr. Gör. Hasan DEMİRBAĞ

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi,

hasan.demirbag@mku.edu.tr

ORCID No:0000-0003-1346-2952

Doç. Dr. İsmail İsa ATABEY

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,

ismailatabey@nevsehir.edu.tr

ORCID No:0000-0002-7026-

5579

ÖZET

Bu araştırmada, cam tozu (CT) esaslı geopolimer kompozitlere (GK) metakaolin (MK) ve kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) ikamesinin taze ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Çalışmada, %50 oranında CT,%30 oranında MK ve %20 oranında KAÇ olmak üzere sabit bir kaynak malzeme oluşturulmuştur. GK'lerde aktivatör olarak sodyum hidroksit kullanılmış olup, 10M,12M,14M ve 16M olmak üzere 4 farklı karışım tasarımı yapılmıştır. Üretilen GK'lar 3 ve 24 saat boyunca 100°C'de etüvde ısıl kür işlemine tabi tutulmuştur. GK'lerin yayılma çapı, birim hacim ağırlığı (BHA), eğilme ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yayılma çapı, molaritenin artmasıyla birlikte artış göstermiş GK-14M ile GK-16M karışımları daha yüksek işlenebilirlik sergilemiştir. BHA değerleri, ısıl kür süresinin uzamasıyla azalmış ve bunun serbest suyun buharlaşmasına bağlı olduğu değerlendirilmiştir. Isıl kür süresinin uzatılması, malzemenin içyapısını daha homojen ve az boşluklu hale getirerek mekanik dayanımlarda belirgin iyileşme sağlamıştır. Eğilme ve basınç dayanımları, 24 saatlik kür sonrası önemli ölçüde artış göstermiş, en yüksek değerler GK-16M karışımında sırasıyla 6,8 MPa ve 44,3 MPa olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, GK'larda yüksek silika içeriğine sahip malzemelerde (CT gibi) alüminyum kaynağı olarak yetersiz kaldığı durumlarda, kalsiyum alüminat çimentoları ve metakolin gibi Al kaynaklarının, alüminyum takviyesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer kompozit, Cam tozu, Metakaolin, Kalsiyum alüminat çimentosu

1. GİRİŞ

Çimento, beton ve harç üretiminde yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Çimento üretim prosesi, küresel sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde olumsuz katkıda bulunmaktadır. Dünya genelinde toplam karbondioksit (CO_2) emisyonlarının önemli bir kısmı çimento üretimi kaynaklıdır. Bu oranın büyük bir kısmı 900°C sıcaklıkta kalsiyum karbonatın (CaCO_3) termal ayrışması sonucu açığa çıkan CO_2 'den kaynaklanmaktadır [1]. Çimento üretiminin neden olduğu çevresel baskının azaltılmasına yönelik olarak, alternatif bağlayıcı malzemelerin geliştirilmesi üzerine çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Bu kapsamda, çevre dostu yapıları, endüstriyel atıkların değerlendirilmesine olanak tanımaları ve üstün mekanik ile dayanıklılık (durabilite) özellikleri sayesinde geopolimerler, yakın gelecekte çimentoya güçlü bir alternatif olarak öne çıkmakta ve araştırmacıların ilgisini bu alana yönlendirmektedir.

Geopolimerler, Portland çimentosu kullanılmadan, genellikle uçucu kül gibi malzemelerden üretilen inorganik, bir bağlayıcıdır. Geopolimerler; yapı malzemeleri, kaplama ve yapıştırıcılar, fiber kompozitler için bağlayıcılar, atıkların bertarafı ve beton için alternatif çimento gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilen yeni nesil malzemeler arasında yer almaktadır [2]. Kimyasal bileşim açısından zeolitlerle benzerlik gösterse de, amorf bir yapıya sahip olmaları onları kristal yapılı zeolitlerden ayırır. Geleneksel Portland çimentosu veya puzolanik bağlayıcılardan farklı olarak geopolimerler, dayanım kazanmak için kalsiyum silikat hidrat (CSH) fazı oluşturmaz. Bunun yerine, silika ve alümina öncüllerinin polikondensasyonu yoluyla üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturarak mekanik dayanım sağlar [3].

Metakaolin (MK), 1960'lı yıllarda çimento sistemlerinde puzolan olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1990'lı yıllarda ise, katkı sağladığı çimento sistemlerinde yüksek dayanım ve dayanıklılık özellikleri kazandırdığı belirlenmiş ve bu özellikleri sayesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Saf kaolin kilinin işlenmesiyle elde edilen metakaolin, amorf bir yapıya sahiptir [4]. Poon ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, MK katkısının betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir [5]. Benzer şekilde, Junior ve arkadaşları da MK esaslı geopolimer kompozitin dayanıklılık özelliklerinin geliştiğini ortaya koymuştur [6]. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) verilerine göre 2015 yılında ABD'de 11,5 milyon ton atık cam (CT) ortaya çıkmıştır. Ancak bu miktarın sadece 3 milyon tonu geri dönüştürülmüştür [7]. CT, toplanan atık camların değirmenlerde öğütülmesiyle elde edilir. Öğütme işleminden sonra, belirli tane boyutlarına ulaşması için eleklerden geçirilerek kullanıma uygun hale getirilir. İnce öğütülmüş cam tozu %75'lik puzolanik dayanım aktivite indeksine ulaşmıştır [8]. Tho-In ve arkadaşları geliştirdikleri geopolimer sistemlerde %20 CT ikame edilen karışımın basınç dayanımını 48 MPa olarak bulmuşlardır [9]. Geopolimer matrislerin mekanik özellikleri artırmak amacıyla ilave Al ve Ca kaynaklarının kullanıldığı hibrit sistemler son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İlave kaynak olarak KAÇ ilave edildiği sistemlere yüksek sıcaklık dayanımı ve gelişmiş mekanik özellikleri sunmasında kaynaklı potansiyel katkı malzemesi olarak değerlendirilmektedir. KAÇ ve CT kullanılarak geliştirilen geopolimer sistemlerde CT gibi yüksek Si içeriğine sahip minerallerin, KAÇ ilavesinin etkili bir Al kaynağı olacağı tespit edilmiştir [10-12].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, CT, MK ve KAÇ içeren geopolimer harçlarda aktivatör molaritesine bağlı olarak dayanım gelişiminin incelemesidir. Bu bağlamda, bağlayıcı sistemde cam tozu ve metakaolin kullanılmıştır. Cam tozunun yüksek silis içeriği nedeniyle sistemdeki alüminyum oranını dengelemek amacıyla kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) ve Metakaolin (MK) ilavesi yapılmıştır. Literatürde cam tozu ile %20 oranında KAÇ kullanımının mekanik dayanımı artırdığına dair bulgular bulunmakta olup, bu doğrultuda bağlayıcı karışım sistemine %20 oranında KAÇ eklenmiştir. Ayrıca, kalıpta uzun süreli havada kür bekleme ihtiyacını azaltmak ve ilk dayanımı hızlandırmak amacıyla, numuneler bir ısıl kür işlemine tabi tutulmuştur.

2.2. Materyal Metot

Çalışmada kullanılan Cam Tozu (CT) Nevşehir bölgesinde faaliyet gösteren bir firmadan, Metakaolin (MK) ise yurt içinde bulunan bir tedarikçiden temin edilmiştir. Kalsiyum Alüminat Çimentosu (KAÇ) Mersin ilinde bulunan Çimsa Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den tedarik edilmiş olup Görsel 1'de gösterilmiştir. Çalışmada aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Geopolimer harç karışımlarında dere kumu kullanılmıştır.

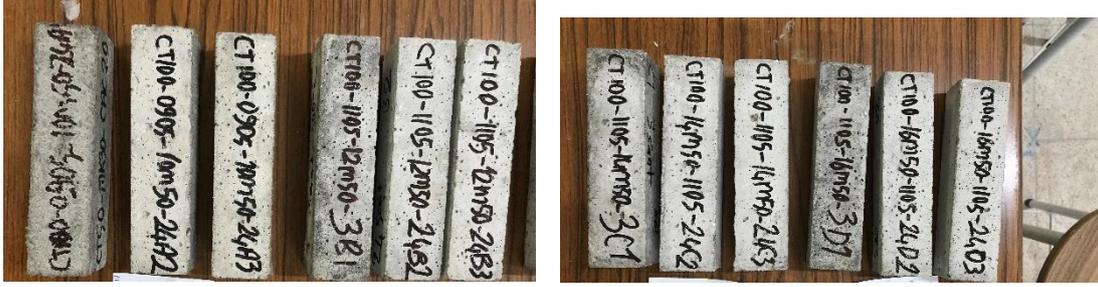


Görsel 1. Geopolimer Öncül Malzemeler (a:CT,b:MK,c:KAÇ)

Çalışmada üretilen GK'ların karışım oranları Çizelge 1'de gösterilmektedir. GK karışımların su/çimento oranı ise 0,50 olarak seçilmiştir. GK karışımlarda öncül malzeme olarak %50 CT, %30 MK ve %20 KAÇ kullanılmıştır. Bu karışımlara aktivatör olarak NaOH (10M,12M,14M ve 16M) ilavesi yapılarak 4 farklı karışım grubu elde edilmiştir. Karışımlar standart bir laboratuvar tipi mikser kullanılarak homojen bir şekilde karıştırılarak taze harç numuneleri elde edilmiştir. Taze haldeki harçlara yayılma deneyi yapılarak bu 4 farklı karışımın işlenebilirlik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra kalıplara yerleştirilerek vibrasyon ile harçların iyice kalıplara yerleştirilmesi sağlanmıştır. Kalıplara yerleştirilen harçlar daha önceden 100°C'ye kadar ısıtılmış etüvde kürlenmeye bırakılmıştır. Karışımlar 3 saat ve 24 saat boyunca 100°C olmak üzere iki farklı sürede ısıl küre bırakıldı. Isıl kürlenme tamamlandıktan sonra numuneler kalıptan çıkarılarak 90 gün boyunca ortam küründe Görsel 2'deki gibi bekletilmiştir. 90 gün sonunda tüm numunelere fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde, yayılma deneyi, birim hacim ağırlık (BHA), eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve Görsel 3'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Geopolimer Kompozitlerin Karışım Oranları

| Karışım Kodu | Kum, g | Su, g | CT, g | MK, g | KAÇ, g | NaOH, g |
|--------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|------------|
| GK-10M | 1350 | 225 | 225 | 135 | 90 | 90 |
| GK-12M | | | | | | 108 |
| GK-14M | | | | | | 126 |
| GK-16M | | | | | | 144 |



Görsel 2. Sertleşmiş Numuneler

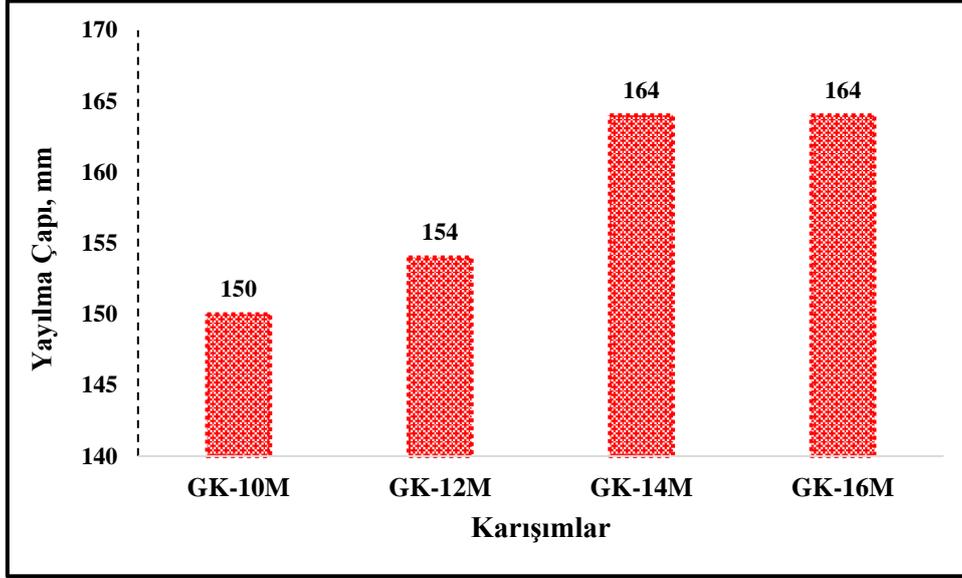


Görsel 3. Taze ve Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Yayılma Çapı

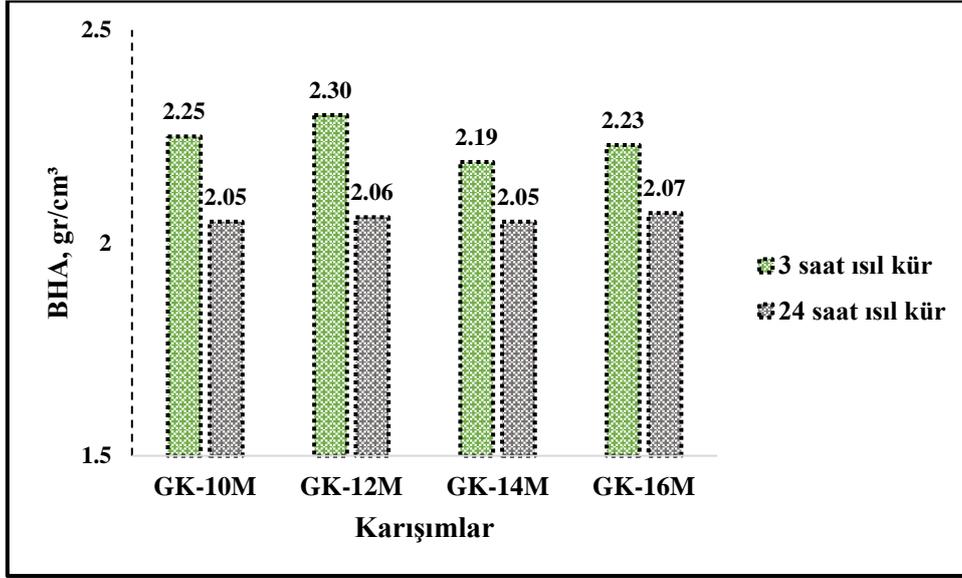
GK'lerin yayılma çapları Görsel 4'de gösterilmektedir. GK'lerin yayılma çapları 150 mm ile 164 mm aralığındadır. En düşük yayılma çapı 150 mm ile GK-10M karışımında kaydedilirken, en yüksek yayılma çapı 164 mm değerleriyle GK-14M ve GK-16M karışımlarında ölçülmüştür. GK'lerin yayılma çaplarının NaOH molarite oranlarına bağlı olarak değiştiği ve özellikle GK-14M ile GK-16M karışımlarının belirgin bir yayılma sergilediği belirlenmiştir.



Görsel 4. Yayılma Çapı Deneyi Sonuçları

3.2 Birim Hacim Ağırlık (BHA)

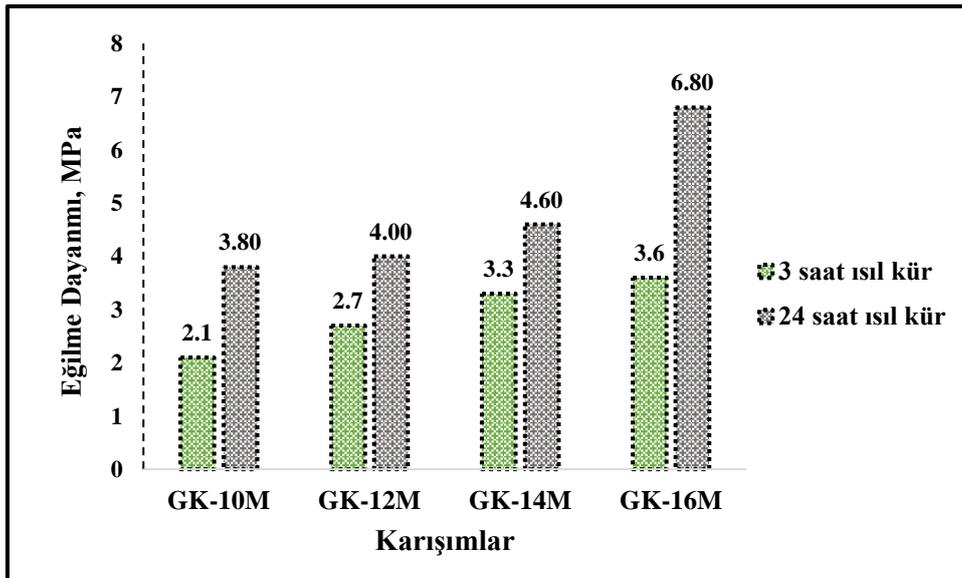
Çalışmada birim hacim ağırlığı (BHA) değerleri Görsel 5'de sunulmuştur. 3 saatlik ısı kuru uygulamasının ardından elde edilen BHA değerlerinin, tüm karışımlar için 24 saatlik ısı kuru kuru değerinden yüksek olduğu görülmüştür. 3 saatlik ısı kuru süresi boyunca BHA değerleri yaklaşık 2,19–2,30 g/cm³ aralığında değişirken, 24 saatlik ısı kuru uygulaması sonucunda bu değerler 2,05–2,07 g/cm³ arasındadır. ısı kuru süresinin uzamasıyla birlikte malzemenin BHA'da azalma meydana geldiği görülmektedir. Karışımların içeriğinin sabit olması sadece molaritelerinin farklı olması BHA değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En yüksek BHA değeri, 3 saatlik ısı kuru süresinde GK-12M karışımında 2,30 g/cm³ tespit edilirken, en düşük değerler 24 saatlik ısı kuru süresinde GK-10M ve GK-14M karışımlarında 2,05 g/cm³ olarak bulunmuştur.



Görsel 5. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonuçları

3.3 Eğilme Dayanımı

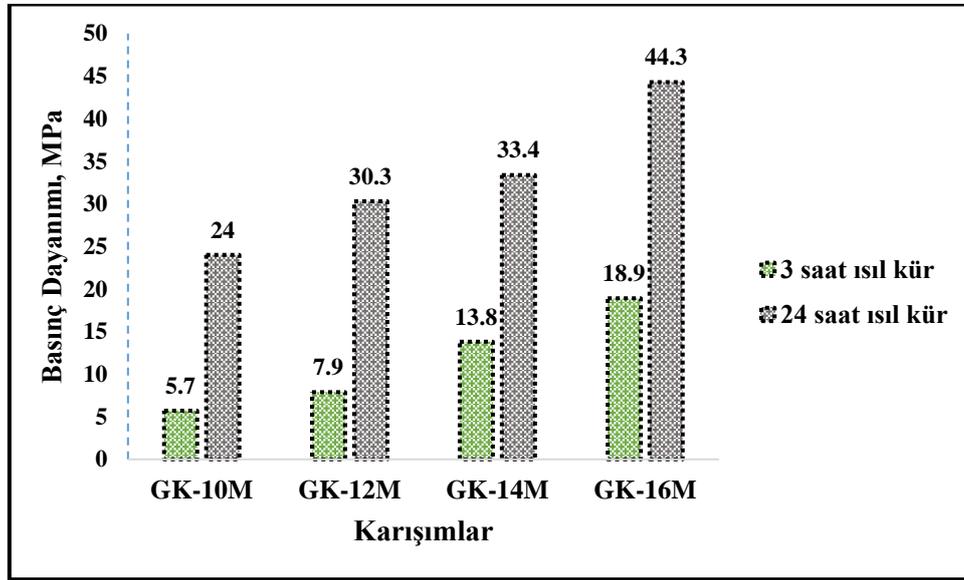
24 saatlik ısıt kür uygulaması GK'lerde eğilme dayanımını belirgin şekilde arttırdığı Görsel 6'da görülmektedir. Örneğin, GK-10M karışımında 3 saatlik ısıt kür süresi sonunda elde edilen 2,1 MPa olan eğilme dayanımı, 24 saatlik kür uygulamasıyla 3,8 MPa değerine yükselmiştir. Karışımlar arasında GK-16M, hem 3 saatlik hem de 24 saatlik kür süresinde en yüksek eğilme dayanımına sahiptir ve sırasıyla 3,6 MPa ve 6,8 MPa olarak bulunmuştur. Ayrıca, 3 saatlik kür uygulaması sonrasında eğilme dayanımı değerlerinin GK-10M 2,1 MPa, GK-12M 2,7 MPa, GK-14M 3,3 MPa ve GK-16M 3,6 MPa'dır. 24 saatlik ısıt kür süresi ise bu artışı daha belirgin hale getirmiş olup, özellikle GK-16M karışımında eğilme dayanımında iki kata yakın bir oranda bir artış göstermiştir.



Görsel 6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

3.4 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı sonuçları farklı molaritelerin ve ısıtma sürelerinin GK üzerindeki etkisini göstermektedir. Görsel 7’de görüldüğü üzere, 24 saatlik ısıtma uygulaması, tüm karışımlarda basınç dayanımında artış sağlamıştır. GK-10M karışımının basınç dayanımı 3 saatlik ısıtma kürde 5,7 MPa iken, 24 saatlik ısıtma kür sonunda 24 MPa değerine ulaşmıştır. Benzer şekilde, diğer karışımlarda da 24 saatlik ısıtma süresi basınç dayanımını artırmıştır. Karışımlar arasında en yüksek basınç dayanımı, 24 saatlik ısıtma uygulaması sonrasında GK-16M karışımında 44,3 MPa elde edilmiştir. Bunu GK-14M 33,4 MPa, GK-12M 30,3 MPa karışımları sırasıyla takip etmektedir. 3 saatlik ısıtma uygulamasında GK-14M karışımının basınç dayanımı 13,8 MPa, GK-16M karışımından 18,9 MPa bulunmuştur. Bu durum, ısıtma süresinin GK üzerindeki etkisinin, molariteye bağlı değiştiğini göstermektedir. ısıtma süresinin uzatılması, olumlu yönde değişikliklere yol açarak basınç dayanımının artmasına katkı sağlamaktadır. Bu sonuçlar, GK’lerde ısıtma süresinin kritik bir parametre olduğunu vurgulamaktadır.



Görsel 7. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

- NaOH miktarının artması yayılma çapında artışa neden olmuştur. Molaritenin artması, işlenebilirliklerin iyileştiğini göstermektedir. GK-14M ve GK-16M karışımlarının daha yüksek yayılma çapı değerlerine sahip olması, diğer karışımlara göre daha işlenebilir olduğunu göstermektedir.
- ısıtma kür süresinin artması, GK’nın iç yapısını daha homojen bir yapıya dönüştürmüştür. Bu durum mekanik özelliklerdeki gelişmeyle paralellik göstermektedir.
- Kür süresinin artması ile BHA ağırlıklarında meydana gelen azalma GK’da bulunan serbest haldeki suyun buharlaşması ile açıklanabilir.
- ısıtma kür süresinin uzatılması GK’nın eğilme ve basınç dayanımını geliştirmiştir. GK-16M karışımında 24 saatlik ısıtma kür sonrası eğilme dayanımı 6,8 MPa iken basınç dayanımı 44,3 MPa ile en yüksek dayanım elde edilmiştir.

- Yüksek oranda silika içeren cam tozu gibi malzemelere ilave alüminyum kaynağı eklenmesinin farklı aktivatör molaritelerinde mekanik özellikleri iyileştirdiği uygun tasarımlarla başarılı bir şekilde kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] İlkentapar S, Eren H. EPS ile İkame Edilmiş Uçucu Küllü Geopolimer Hafif Harcın Fiziksel, Mekanik ve Isıl Geçirimlilik Özelliklerinin İncelenmesi, Academic Platform Journal of Engineering and Science, 9(1), 28-38, 2021.
- [2] R. Cioffi, L. Maffucci and L. Santoro. Optimization of geopolymer synthesis by calcinations and polycondensation of a kaolinitic residue Resources, Conservation and Recycling, 40, pp. 27–38, 2003.
- [3] Olawale MD. Syntheses, characterization and binding strength of geopolymers: A review, International Journal of Materials Science and Applications, 2(6), 185-193, 2013.
- [4] Barnes, P., Bensted, J., . “Structure and Performance of Cements”, Second Edition. CRC Press, 584s, London.2001.
- [5] Poon, C.S., Kou, S.C, Lam, L.,. Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete, Construction and Building Materials, 20, 858-865, 2006.
- [6] Júnior, N. S. A., Neto, J. S. A., Santana, H. A., Cilla, M. S., & Ribeiro, D. V. Durability and service life analysis of metakaolin-based geopolymer concretes with respect to chloride penetration using chloride migration test and corrosion potential. *Construction and Building Materials*, 287, 122970, 2021.
- [7] Saltaş N. Farklı Oranlarda Çimentonun Yerine Kullanılan Atık camtozunun Taze Beton ve Sertleşmiş Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2019.
- [8] Moghadam, M. J., Ajalloeian, R., & Hajiannia, A. Preparation and application of alkali-activated materials based on waste glass and coal gangue: A review. *Construction and Building Materials*, 221, 84-98, 2019.
- [9] Tho-In, T., Sata, V., Boonserm, K., & Chindaprasirt, P. Compressive strength and microstructure analysis of geopolymer paste using waste glass powder and fly ash. *Journal of cleaner production*, 172, 2892-2898, 2018.
- [10] Ay C. Atık Cam Tozu Tabanlı Geopolimer Harçlarda Kalsiyum Alüminat Çimentosu Etkisinin Araştırılması, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 2021.
- [11] Atabey, I. I. Influence of Ca and Al source on elevated temperature behavior of waste ceramic sanitaryware-based alkali-activated mortars. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 58(3), 949-962, 2022.
- [12] Atabey, İ. İ., & Ay, C. Kalsiyum alüminat çimentosunun farklı kür koşullarında atık cam tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 184-189, 2021.

MISIR SİLAJI MEKANİZASYONU ve SİLOLAMA YÖNTEMLERİ

Öğr. Gör. Dr. MEHMET BAHADIR

Konya Teknik Üniversitesi Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü Tarım Makineleri Programı, Konya, mbahadir@ktun.edu.tr - 0000-0002-5071-5085

Zir. Müh. Mustafa YILDIRIM

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Konya, my151525012@gmail.com - 0009-0001-9705-1327

Zir. Müh. Ergin TOPBAŞ

Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, ergntpbs@gmail.com- 0009-0005-0816-0978

Doç. Dr. Osman ÖZBEK

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Konya, ozbek@selcuk.edu.tr - 0000-0003-0034-9387

ÖZET

Bu çalışma, mısır silajı mekanizasyonu ve silolama yöntemlerini inceleyerek, hayvancılık sektöründe yüksek kaliteli yem üretiminin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır. Mısır silajının önemi, uygun hasat zamanı, silaj makineleri ve farklı silolama teknikleri (geleneksel, silindirik balya ve tulum yöntemleri) detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Araştırma kapsamında, her bir yöntemin işletmecilik değerleri, yakıt tüketimi, iş başarısı ve ekonomik maliyetler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonuçlarına göre, tulum silaj yöntemi büyük ölçekli işletmeler için yüksek kapasite ve verimlilik sağlarken, silindirik balya yöntemi sıkıştırma kalitesi ve besin değeri koruma açısından avantajlıdır. Geleneksel yöntem ise düşük maliyetli ve basit uygulanabilirliği nedeniyle küçük işletmeler için uygundur. Ayrıca, mısır silajının hayvan beslenmesindeki rolü, üretim süreçlerindeki optimizasyon önerileri ve Türkiye'deki mısır üretim trendleri tartışılmıştır.

Bu araştırma, hayvancılık sektöründe mısır silajı üretiminin mekanizasyon ve silolama süreçlerine yönelik bilimsel veriler sunarak, üreticilere ve politika yapıcılara rehberlik etmeyi

hedeflemektedir. Elde edilen bulgular, yem kalitesinin artırılması, kayıpların minimize edilmesi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mısır silajı, silolama yöntemleri, mekanizasyon, hayvan besleme, verimlilik.

IMPACT OF SCALPING ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GRANULAR SOILS

Nadine Nguyen
Hassan Ngoc
Marot Bendahmane
Fateh Didier

Laboratory of Soil Mechanics, University of Algiers, Algeria

Abstract

Scalping, a process involving the removal of surface soil layers, is a common activity in geotechnical and construction engineering that can significantly influence the mechanical properties of granular soils. This study examines how scalping affects key geomechanical parameters such as shear strength, compressibility, and permeability in various types of granular soils. Through a combination of laboratory tests and field case studies conducted across different climatic and geological settings, samples were prepared with and without scalping treatment. Results reveal that scalping generally increases soil density and shear strength by removing loose, fine particles and altering particle size distribution. However, it may also reduce soil permeability due to compaction effects, which has implications for drainage and water retention properties. The analysis explores the influence of scalping depth and initial soil condition on these outcomes. The findings suggest that appropriate scalping management can enhance soil stability in foundations and earth structures, but improper application may lead to unintended consequences such as increased runoff or erosion risk. This research contributes to optimizing soil preparation techniques for construction and agricultural purposes, providing guidance for engineers on balancing mechanical improvements against environmental impacts. Further investigations are recommended to study long-term effects under cyclic loading and environmental exposure.

Keywords: scalping, granular soils, shear strength, soil compaction, permeability

SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH

Wang Teh
Dr. Chin Lee

Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Singapore,
Singapore

Abstract

Rockfall events pose significant hazards in mountainous and steep terrain areas, making understanding their motion characteristics crucial for risk mitigation and infrastructure protection. This study introduces a statistical simulation framework to analyze the trajectories, velocities, and travel distances of individual rockfall events using Monte Carlo methods combined with field-measured parameters. Data from a series of monitored rockfalls in a highly fractured mountainous region were used to calibrate the simulation model. The results capture the inherent variability and uncertainty in rockfall behavior arising from differences in rock size, slope geometry, and surface conditions. Key motion characteristics such as bouncing frequency, rolling distance, and resting angles were statistically quantified, revealing patterns useful for hazard prediction. Sensitivity analyses highlight the dominant factors affecting rockfall runout and impact energies. The model offers a practical tool for engineers and planners to estimate rockfall hazard zones and design protective structures. The paper discusses how integrating statistical approaches with deterministic modeling improves the reliability of rockfall risk assessments. Future work aims to extend the model to include climate-related triggers and material weathering effects.

Keywords: rockfall simulation, statistical modeling, hazard assessment, Monte Carlo methods, geohazards

FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA

Assis. Prof. Anthony Ademeso Odunyemi

Department of Geology, Obafemi Awolowo University, Nigeria

Abstract

The Akure area in southwestern Nigeria hosts a complex assemblage of charnockitic and granitic rocks whose origin and petrogenetic relationships have implications for regional tectonics and mineral exploration. This study combines detailed field mapping with petrographic analyses to elucidate the textural, mineralogical, and structural characteristics of these rocks. Samples collected from key outcrops were examined under polarized microscopy and compared with field observations regarding lithology, foliation patterns, and structural deformation. The results indicate distinct differences in mineral content and crystallization history between charnockitic and associated granitoid bodies, suggesting multiple magmatic and metamorphic events. Petrographic signatures such as quartz and feldspar morphology, presence of orthopyroxene, and alteration features provide insights into the metamorphic grade and cooling history. Structural correlations underscore the influence of regional deformation phases on rock fabric. These findings contribute to understanding the geodynamic evolution of the Nigerian basement complex and support exploration strategies for high-grade metamorphic terrains. The paper highlights the value of integrated field and laboratory studies in deciphering the geological history of complex metamorphic provinces.

Keywords: charnockite, granite, petrography, Akure, Nigerian basement complex

APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES

Yuxin Gama

Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, China

Qingyun Chen Di

School of Earth Sciences, Peking University, China

Abstract

The Controlled-Source Audio-frequency Magnetotelluric (CSAMT) method is a valuable geophysical technique for imaging subsurface rock structures and identifying concealed tectonic features critical to engineering and mineral exploration projects. This paper presents case studies demonstrating CSAMT applications in two geologically complex areas characterized by faulted and fractured rock masses. High-resolution resistivity models reconstructed from CSAMT data reveal variations in lithology, fracture zones, and fluid pathways that are often undetectable by traditional geophysical methods. The investigations successfully delineated fault locations, lithological boundaries, and potential zones of weakness that could affect construction stability or resource extraction. Interpretation was supported by complementary geologic and geotechnical information, reinforcing the reliability of CSAMT surveys. These case studies showcase the method's capacity to resolve intricate subsurface structures in challenging environments, improve hazard assessments, and guide engineering designs. The paper advocates for wider adoption of CSAMT in rock mass characterization and discusses best practices for data acquisition and processing.

Keywords: CSAMT, rock mass structure, tectonic features, geophysical survey, resistivity imaging

UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS

Abdulrahman Abdulrahman

Department of Hydraulic Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals,
Saudi Arabia

Abstract

Understanding water surface profiles along side weirs in complex channel geometries is essential for effective hydraulic design and flood management. This research develops a unified mathematical equation describing steady-state water surface profiles along side weirs in channels combining trapezoidal and exponential cross-sectional shapes. The study derives the equation from principles of open channel flow and energy conservation, incorporating flow resistance, weir discharge characteristics, and channel geometry parameters. Analytical and numerical solutions are presented, validated against experimental data from laboratory flume tests. The unified equation accurately predicts water levels and flow distributions along various channel configurations, improving over previous empirical formulas limited to simpler geometries. Sensitivity analyses illustrate the effects of channel slope, weir length, and flow rate on the water surface profile. Practical implications for designing efficient spillway systems and urban drainage channels are discussed. The approach enhances hydraulic modeling capabilities in complex natural and engineered waterways and can be extended to transient flow scenarios in future research.

Keywords: water surface profile, side weir, hydraulic modeling, trapezoidal channel, exponential channel

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE-FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA

Dr. Rahim Amin

Geophysics and Remote Sensing Department, Bandung Institute of Technology, Indonesia

Abstract

Large-magnitude earthquakes cause measurable co-seismic perturbations in Earth's gravity field, detectable by satellite gravimetry missions such as GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment). This study performs a comparative analysis between observed co-seismic gravity changes from GRACE measurements and theoretical predictions from finite-fault models for the 2012 Mw 8.6 Indian Ocean earthquake off the coast of Sumatra. Satellite data spanning the earthquake period were processed to extract gravity anomalies, which were then compared with modeled gravity changes based on the earthquake's seismic slip distribution and fault geometry. Results demonstrate good agreement in spatial patterns and magnitudes, validating the finite-fault approach in representing mass redistribution during seismic events. Discrepancies are discussed in the context of noise, temporal resolution, and model simplifications. This research enhances understanding of the coupling between seismic processes and geodetic measurements and supports improved earthquake source characterization. Findings have applications in geophysical hazard assessment and monitoring of tectonic mass movements using satellite gravimetry.

Keywords: co-seismic gravity, GRACE, finite-fault model, Indian Ocean earthquake, satellite gravimetry

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS

Polat Inci

Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Turkey

Hasan Develioglu

Institute of Soil Mechanics, Istanbul Technical University, Turkey

Abstract

Organic dredged sediments represent a significant geotechnical challenge due to their heterogeneous composition and complex consolidation behavior, which impact their suitability for reclamation and construction purposes. This study assesses the physical, mechanical, and compression characteristics of organic sediments obtained from major dredging operations in coastal and riverine environments. Laboratory testing includes particle size analysis, Atterberg limits, oedometer consolidation tests, and shear strength measurements. Results highlight the distinct compressibility and strength reduction associated with organic content and degree of decomposition. The investigation identifies key parameters influencing sediment behavior such as organic matter percentage, moisture content, and sediment age. The findings aid in developing predictive models for settlement and stability of structures founded on or constructed with dredged materials. Recommendations for improving sediment handling and reuse strategies in engineering projects are discussed. This research provides essential data for designing safe and sustainable dredging and reclamation projects in areas with organic-rich sediments.

Keywords: organic sediments, geotechnical properties, compression behavior, dredging, soil mechanics

OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD

Arii Yudhaprasetya

Department of Petroleum Engineering, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Ario Agus

Center for Offshore Engineering, Diponegoro University, Indonesia

Guritno Setiawan

Faculty of Mechanical Engineering, University of Indonesia, Indonesia

Recky Supriatna Tehupuring Cosmas

Department of Chemical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Indonesia

Abstract

Enhancing oil production efficiency in offshore fields is critical for sustaining energy supplies and economic viability. This case study evaluates the implementation of ejector technology in the North West Java offshore field to optimize reservoir output and manage gas-lift challenges. Operational data before and after ejector installation were analyzed to quantify improvements in production rates, pressure profiles, and equipment reliability. The ejector system improved gas handling capacity, reduced operational costs, and enhanced liquid recovery by boosting wellhead pressure and stabilizing flow regimes. The study discusses design parameters, installation procedures, and integration with existing infrastructure. Sensitivity analyses identify optimal ejector configurations and operational settings tailored to reservoir characteristics. The findings demonstrate significant benefits in boosting oil production and extending field life, contributing to improved resource management. Lessons learned from this project inform best practices for ejector applications in similar offshore environments globally.

Keywords: ejector technology, offshore production, reservoir optimization, gas lift, petroleum engineering

EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS

Aigerim Zhanbota

Department of Civil Engineering, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Nurlan Abilov

Institute of Geotechnical Engineering, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Aruzhan Kassenova

Department of Environmental Engineering, KIMEP University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

This study examines how surface scalping affects the geotechnical behavior—specifically the strength and deformation properties—of granular soils typically found in construction and infrastructure projects. Surface scalping, a technique used to remove the uppermost soil layers including loose or unsuitable material, is widely practiced to improve foundation conditions. Laboratory tests including triaxial compression, direct shear, and consolidation tests were conducted on both scalped and unscalped granular soil samples collected from various sites in Kazakhstan. The results reveal that scalping enhances soil density and reduces void ratios, leading to increased shear strength and reduced compressibility. Deformation characteristics such as settlement under load also exhibited significant improvements in scalped samples. These findings emphasize the importance of surface preparation in ground improvement efforts and provide quantitative data to inform engineering design. Additionally, the study discusses how soil particle size distribution and mineralogical composition interact with scalping effects. The practical implications suggest that proper surface scalping can mitigate risks of excessive settlement and slope failures, ensuring better performance of foundations and earthworks. This research contributes to geotechnical engineering by highlighting an effective soil treatment technique and its influence on granular soil mechanics in semi-arid and steppe environments. Future work may extend these findings to other soil types and climatic regions.

Keywords: surface scalping, granular soils, shear strength, soil deformation, geotechnical engineering

STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Faridah Binti Mohamad

Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Dr. Ahmad Faizal

Institute of Environmental Science, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia

Abstract

Rockfalls pose significant hazards in mountainous regions, threatening infrastructure, human safety, and ecological systems. This research presents a comprehensive statistical modeling and simulation framework to analyze rockfall dynamics on steep slopes commonly found in Southeast Asia. Data from field observations, historical records, and remote sensing were integrated to characterize rockfall frequency, magnitude, and trajectories. Various stochastic models, including Poisson processes and Monte Carlo simulations, were developed to predict rockfall occurrence and impact zones under different terrain and climatic conditions. Model validation was performed using case study data from the Cameron Highlands and Genting Highlands regions. Results demonstrate the effectiveness of probabilistic approaches in capturing the complexity and unpredictability of rockfalls. Furthermore, the study explores mitigation strategies by simulating the effect of barrier systems and slope stabilization measures. The proposed models facilitate risk assessment and land-use planning by providing quantitative estimates of rockfall hazards and their spatial distribution. This interdisciplinary approach combining geology, statistics, and engineering informs sustainable development in vulnerable mountainous landscapes. Future research directions include coupling climate change projections with geohazard modeling to anticipate evolving rockfall risks.

Keywords: rockfall dynamics, statistical modeling, mountainous terrain, hazard simulation, geohazards

PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA

Dana Sadykova

Department of Geology, University of Lagos, Nigeria

Mohd Hafiz Bin Ismail

Faculty of Earth Sciences, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

This paper details a comprehensive petrological and field investigation of charnockitic and granitic rock formations located in Southwestern Nigeria. The study aims to elucidate the mineralogical composition, textural characteristics, and tectonic history of these rocks to better understand regional geological evolution. Fieldwork involved mapping and sample collection, followed by laboratory petrographic analysis using thin-section microscopy, X-ray diffraction, and geochemical assays. Results indicate that the charnockitic rocks exhibit coarse-grained textures dominated by orthopyroxene and feldspar, suggesting high-grade metamorphic conditions. The associated granitic formations display varied intrusive relationships and compositional zoning consistent with multiple magmatic pulses. Structural analysis reveals deformation features indicative of tectono-metamorphic events related to the Pan-African orogeny. The integration of petrographic and structural data supports a model of crustal reworking involving partial melting and magmatic differentiation. Findings contribute to the broader understanding of Precambrian basement complexes in West Africa and provide insights relevant to mineral exploration and tectonic reconstructions. The study highlights the significance of combined field and laboratory approaches in unraveling complex geological histories.

Keywords: charnockitic rocks, granitic formations, petrography, tectonic history, Southwestern Nigeria

APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA

Nurul Afiqah

Department of Geophysics, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia

Ahmad Zulkifli

Institute of Earth Sciences, Universiti Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

The Controlled-Source Audio-Frequency Magnetotellurics (CSAMT) technique has emerged as a powerful geophysical method for imaging subsurface resistivity distributions, especially useful in tectonically complex areas. This paper presents case studies applying CSAMT surveys across several Southeast Asian regions characterized by intricate fault systems and variable lithologies. The CSAMT data were processed using robust inversion algorithms to create high-resolution resistivity models that reveal fault geometries, fracture zones, and sedimentary basin structures. Results demonstrate the capacity of CSAMT to delineate subsurface features otherwise obscured by conventional methods, aiding in the identification of zones susceptible to seismic activity and fluid migration pathways. Detailed analysis reveals correlations between resistivity anomalies and known tectonic features, supporting interpretation reliability. The use of CSAMT enhances geological understanding, which is vital for resource exploration and seismic hazard assessment. The paper also discusses technical challenges and strategies for optimizing data acquisition in tropical environments with high cultural noise. This study underscores the value of CSAMT as a complementary geophysical tool in Southeast Asian tectonics research and encourages its wider application in similar settings globally.

Keywords: CSAMT, tectonic structures, geophysical imaging, Southeast Asia, resistivity inversion

MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS

Assist. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov

Department of Hydraulic Engineering, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Dr. Zhanar Kazybekova

Institute of Water Problems and Hydropower, Kazakhstan National Research Technical
University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

This paper focuses on the development and analysis of mathematical models to describe water surface profiles in open channels featuring combinations of trapezoidal and exponential cross-sectional shapes. Open channel flows with complex geometries present significant challenges for hydraulic design and flood management. The study employs the standard gradually-varied flow equations, incorporating channel geometry functions specific to trapezoidal and exponential sections. Analytical and numerical methods were utilized to solve the governing equations, enabling precise predictions of water surface elevations under varying flow conditions. Model validation was conducted using experimental data and field measurements from irrigation canals in Central Asia. The models provide engineers with reliable tools to optimize channel designs, predict flood levels, and improve water conveyance efficiency. Moreover, sensitivity analyses highlight the influence of channel slope, roughness, and flow discharge on water profile behavior. The research contributes to the broader field of hydraulic engineering by extending solution methodologies to hybrid channel configurations commonly encountered in agricultural and urban water management systems. Future work may consider transient flow conditions and sediment transport coupling.

Keywords: water surface profiles, open channel flow, trapezoidal channels, exponential channels, hydraulic modeling

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE

Siti Nur Aisyah

Mohd Faizal

Department of Geophysics, University of Malaysia

Abstract

This study presents a comprehensive comparative analysis of co-seismic gravity variations associated with the 2012 Sumatra earthquake. Utilizing data from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission alongside finite-fault seismic models, the research aims to better understand the gravity field changes induced by the earthquake event. The GRACE data provide large-scale temporal gravity field observations, which reveal mass redistributions within the Earth's crust caused by seismic activity. Finite-fault models, incorporating detailed rupture mechanics and fault geometry, offer estimates of ground displacement and crustal deformation. The integration of these two approaches enables the validation and refinement of geophysical models for earthquake-induced mass movement. The study compares spatial and temporal patterns of gravity anomalies detected by GRACE with those predicted by finite-fault simulations, highlighting areas of agreement and discrepancy. Results demonstrate that while GRACE data effectively capture broad gravity variations over the epicentral region, finite-fault models provide higher resolution insights into rupture dynamics and fault slip distribution. The research discusses the implications for seismic hazard assessment and geodynamic studies, emphasizing the value of combining satellite gravimetry with advanced modeling techniques. It contributes to improving the understanding of earthquake processes and offers prospects for enhanced monitoring of co-seismic effects in complex tectonic settings.

Keywords: co-seismic gravity, GRACE satellite, finite-fault models, Sumatra earthquake

GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS

Ayanbek Nurmagambetov

Rashidah Binti Ahmad

Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Malaysia

Abstract

This paper investigates the geotechnical characteristics and compressibility behavior of organic-rich dredged sediments collected from coastal regions of Malaysia. Dredged sediments typically exhibit complex properties due to the presence of organic matter which significantly influences soil strength, compressibility, and settlement behavior. The study focuses on detailed laboratory testing including grain size distribution, plasticity index, organic content, consolidation, and compressibility parameters. Special attention is given to the influence of organic content on the sediment's mechanical response under loading. Results reveal that higher organic content correlates with increased compressibility and lower shear strength, which pose challenges for engineering applications involving dredged material reuse or disposal. The research compares compressibility profiles under various loading conditions and evaluates settlement predictions for reclaimed coastal areas. Findings highlight the necessity for site-specific geotechnical assessment to ensure the stability and performance of infrastructures built on or with dredged sediments. This work provides crucial data for coastal engineering projects and supports sustainable sediment management practices in tropical maritime environments.

Keywords: geotechnical properties, organic sediments, compressibility, Malaysian coast

OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD

Zhanar Mukanova

Nurul Huda

Department of Petroleum Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia

Abstract

This research explores the optimization of offshore hydrocarbon production through the application of ejector technology in the Northwest Java oil and gas field. Ejectors serve as multiphase pumping devices that utilize fluid dynamics to enhance well production by reducing bottom-hole pressure without requiring mechanical moving parts. The study analyzes operational data, design parameters, and fluid characteristics to evaluate ejector performance and its impact on production efficiency. A simulation model incorporating thermodynamic and hydraulic principles is developed to estimate optimum operating conditions and ejector configurations tailored to the field's reservoir properties. Results demonstrate that ejectors significantly increase production rates by improving lift capabilities and managing pressure drawdown effectively. The research addresses challenges such as choking, instability, and energy consumption, proposing design improvements and control strategies. Economic and environmental benefits are also assessed, emphasizing ejector technology as a cost-effective and reliable solution for mature offshore fields facing production decline. This study contributes to the advancement of enhanced oil recovery techniques and provides practical recommendations for integrating ejectors into offshore production systems.

Keywords: ejector technology, offshore production, Northwest Java, production optimization

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF PIN FIN HEAT SINK EFFICIENCY

Ayush Patel

Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, India

S. Ramesh Kumar

School of Mechanical Engineering, Vellore Institute of Technology, India

M. Azeem

Department of Thermal Sciences, National University of Sciences and Technology, Pakistan

Abstract

Heat sinks with pin fin configurations are widely used in modern electronics to dissipate heat effectively and maintain operational safety. This paper presents a comprehensive analysis of the efficiency of pin fin heat sinks under various geometric and operational parameters. It focuses on the influence of fin shape, fin spacing, material properties, and airflow velocity on thermal performance. Experimental data are complemented by numerical simulations using computational fluid dynamics (CFD) tools, aiming to optimize heat dissipation and reduce thermal resistance. The study investigates heat transfer mechanisms, namely convection and conduction, and examines how modifications in pin height and arrangement affect the overall thermal management. Results indicate that increasing fin surface area enhances heat transfer but may increase pressure drop, thus requiring a trade-off analysis. The impact of ambient conditions and heat flux density on performance is also discussed. Findings provide valuable insights into the design of more efficient cooling systems in high-power electronic devices. This work contributes significantly to practical engineering by guiding the development of compact, energy-efficient thermal management solutions.

Keywords: pin fin heat sink, thermal efficiency, heat transfer, computational fluid dynamics, electronics cooling

FEASIBILITY OF SIMPLIFIED SYNCHRONOUS GENERATOR MODEL FOR POWER SYSTEM STABILITY ASSESSMENT

A. Kumar

Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

L. Perez

Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

Abstract

Power system stability analysis requires accurate yet computationally efficient generator models to simulate dynamic behavior under various disturbances. This study investigates the feasibility of applying a simplified synchronous generator model for power system stability assessment. The proposed model reduces computational complexity while maintaining acceptable accuracy for transient and small-signal stability analyses. Validation is performed through comparison with detailed generator models under different fault and load scenarios on benchmark test systems. The results demonstrate that the simplified model successfully captures key dynamic characteristics, enabling faster simulations without significant loss of fidelity. Sensitivity analysis of model parameters highlights robustness across varying operating conditions. The paper discusses limitations and possible extensions, including integration with renewable energy resources and grid modernization technologies. This approach provides utilities and system planners with a pragmatic tool that balances model complexity with simulation speed, aiding real-time stability monitoring and control.

Keywords: synchronous generator, power system stability, simplified modeling, transient analysis, dynamic simulation

ELECTRICITY GENERATION FROM WASTEWATER USING A MICRO-HYDRAULIC TURBINE

Yuki Nakamura

Department of Renewable Energy Engineering, University of Tokyo, Japan

Hiroshi Tanaka

Department of Mechanical Systems Engineering, Kyoto University, Japan

Akira Sato

Graduate School of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

Abstract

The increasing energy demands and environmental concerns have propelled interest in sustainable electricity generation methods. This research explores the feasibility of harvesting electrical energy from wastewater flows via a micro-hydraulic turbine system. The study presents design considerations for miniaturized turbines optimized for low head and variable flow rates typical in wastewater treatment plants. Experimental prototypes were developed and tested in laboratory conditions simulating real wastewater streams to assess hydraulic efficiency and power output. Integration with micro-hydraulic generators and control electronics was evaluated for optimized conversion and grid compatibility. Results indicate practical potential for decentralized energy production, reducing reliance on traditional energy sources and carbon emissions. Furthermore, the study discusses scalability, cost-effectiveness, and environmental impacts, emphasizing the role of micro-hydraulic turbines in circular economy models. The findings encourage further development of innovative green technologies for wastewater infrastructure sustainability.

Keywords: micro-hydraulic turbine, wastewater energy, renewable energy, turbine design, sustainable technology

ONLINE DIAGNOSIS OF STATOR FAULTS IN SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTORS USING ELECTRIC CURRENT ANALYSIS

Miguel Herrera Santos

School of Electrical and Computer Engineering, National Autonomous University of Mexico,
Mexico

Dr. Carlos Enrique Alvarado

School of Electrical and Computer Engineering, National Autonomous University of Mexico,
Mexico

Maria Isabel Torres

School of Electrical and Computer Engineering, National Autonomous University of Mexico,
Mexico

Abstract

Timely detection of stator faults in squirrel cage induction motors is critical for preventing unexpected failures and reducing maintenance costs. This paper proposes an online fault diagnosis technique based on electric current analysis leveraging advanced signal processing methods. The approach employs spectral analysis, wavelet transforms, and machine learning classifiers to detect anomalies indicative of stator winding faults. Data were collected through current sensors installed on operating motors in industrial environments. The proposed method enables early fault identification with high sensitivity and specificity, even under variable load conditions, enhancing reliability of fault prognosis. Comparisons with conventional diagnostic approaches demonstrate superior accuracy and real-time applicability. The work also addresses implementation challenges including noise interference, sensor placement, and computational efficiency. This research contributes to the development of smart condition monitoring systems which improve operational safety and extend machinery lifespan in power-dependent industries.

Keywords: stator faults, induction motors, electric current analysis, fault diagnosis, condition monitoring

ENHANCED MULTI-OBJECTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR OPTIMAL DESIGN OF POWER SYSTEM STABILIZERS

Dr. A. H. El-Metwally

Department of Electrical Power Engineering, Alexandria University, Egypt

Prof. Dr. R. Khadraoui

Department of Electrical Engineering, University of Algiers, Algeria

Abstract

Power system stabilizers (PSS) play a vital role in damping power system oscillations and enhancing dynamic stability. This study develops an enhanced multi-objective particle swarm optimization (MOPSO) algorithm to optimally design PSS parameters addressing conflicting objectives such as stability margin, damping ratio, and control effort. The proposed MOPSO integrates adaptive weighting strategies and global search capability improvements ensuring faster convergence and robustness against local optima. Validation is conducted on IEEE benchmark systems under various disturbance scenarios to test stability performance and robustness. Results illustrate significant improvements in performance indices compared to traditional optimization methods, demonstrating the algorithm's effectiveness. Sensitivity analyses highlight parameter impacts and tuning methodology. The practical applicability of the proposed design framework promises enhancements in power system reliability and operational safety. Future applications to smart grids and renewable-integrated networks are also discussed.

Keywords: power system stabilizers, multi-objective optimization, particle swarm optimization, dynamic stability, control systems

A COST-EFFECTIVE DESIGN AND ANALYSIS OF FULL BRIDGE LLC RESONANT INVERTER

Alex Johnson
Priya Sharma

School of Electrical Engineering, University of British Columbia, Canada

Abstract

The full bridge LLC resonant inverter is widely used in power electronics for efficient DC-DC conversion, especially in renewable energy and electric vehicle systems. This paper presents a cost-effective design methodology and performance analysis of full bridge LLC resonant inverters. The study focuses on optimizing component selection, switching frequency, and resonant tank parameters to maximize efficiency and reduce electromagnetic interference. Analytical modeling is corroborated with circuit simulations and prototype testing under varying load conditions. Special attention is given to thermal management and reliability aspects to ensure long-term operation. Results demonstrate industrially relevant efficiency improvements, reduced switching losses, and compact design feasibility. The research contributes valuable guidelines for engineers seeking cost-efficient power conversion solutions with high performance, especially suitable for medium voltage applications. Prospective work includes integration with smart grid technologies and higher power scaling.

Keywords: full bridge LLC inverter, power electronics, resonant inverter, energy efficiency, DC-DC conversion

OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS

Dr. Samuel Karanja

Department of Environmental Engineering, University of Nairobi, Kenya

Abstract

Biogas production is a sustainable method for renewable energy generation that harnesses organic waste materials. This study focuses on optimizing the two-stage biogas production process using biofilm reactors, which enhance microbial activity and improve gas yield. The two-stage system separates hydrolysis/acidogenesis and methanogenesis phases, allowing better control over each stage and increased biogas efficiency. Various operational parameters, including temperature, pH, substrate loading rate, and hydraulic retention time, were systematically varied to determine their effects on biogas output and composition. Experimental results from pilot-scale biofilm reactors showed significant improvements in methane content and biogas volume when optimal conditions were maintained. The use of biofilms improved microbial retention and stability, reducing process inhibition commonly experienced in conventional reactors. Furthermore, the study demonstrated that staged degradation reduces volatile fatty acid accumulation and enhances system resilience to fluctuating feedstock qualities. Modeling and simulation techniques were employed to predict system performance under different operating scenarios, providing a framework for scale-up and industrial application. This research contributes valuable insights to the field of anaerobic digestion and highlights biofilm reactors as promising technology for efficient biogas production using organic wastes. The findings support the development of more sustainable waste-to-energy technologies with economic and environmental benefits.

Keywords: biogas production, biofilm reactors, two-stage anaerobic digestion, methane optimization, renewable energy

ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION

Dr. Min-Jae Kim

Department of Environmental Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), South Korea

Abstract

The effective removal of nitrogen and phosphorus from livestock wastewater is critical to prevent eutrophication and environmental contamination. This study investigates a novel combined approach utilizing zeolite adsorption and ionizing radiation treatment to enhance nutrient removal efficiencies. Zeolite minerals offer high cation exchange capacities conducive to ammonium adsorption, while ionizing radiation breaks down organic matter, facilitating nutrient release and enhancing bioavailability for adsorption. Laboratory batch experiments assessed the removal efficiencies of ammonia nitrogen and phosphate ions under varying dosages of zeolite and ionizing radiation levels. Results demonstrated a synergistic effect where pretreatment with ionizing radiation significantly increased nitrogen and phosphorus uptake by zeolite. Kinetic analyses revealed rapid adsorption rates, making the process feasible for real-time wastewater treatment. Additionally, the treated wastewater showed reduced biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD), indicating effective organic pollutant reduction. This integrated technique offers a promising, environmentally friendly alternative for nutrient management in intensive animal farming operations, minimizing downstream impacts on aquatic ecosystems. The study also discusses practical considerations for scaling the process and optimizing energy consumption during radiation application for field deployment.

Keywords: nitrogen removal, phosphorus removal, zeolite adsorption, ionizing radiation, wastewater treatment

EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE

Dr. Carlos Mendoza

Department of Chemical Engineering, University of São Paulo, Brazil

Abstract

The separation of oil-water mixtures using hydrocyclones is a widely applied technology in the petroleum industry. However, the mechanical properties of crude oil particles, especially elasticity, significantly influence separation efficiency. This study examines how variations in crude oil droplet elasticity affect the performance of hydrocyclone separators. Using emulsified crude oil samples with controlled elastic moduli, experiments were conducted to measure separation efficiency, cut size, and pressure drop across hydrocyclones. The results indicate that more elastic droplets exhibit greater deformation under shear forces, leading to increased coalescence and improved separation. Computational fluid dynamics (CFD) simulations complemented experimental data by visualizing flow patterns and particle trajectories inside the hydrocyclone. Findings reveal that optimal operating conditions depend on balancing centrifugal and elastic forces to enhance phase separation without compromising throughput. This research provides valuable insights for designing and operating hydrocyclones tailored to specific crude oil properties, improving separation efficiency and reducing process costs. The implications extend to improved water treatment in oil production and refining processes.

Keywords: hydrocyclone, crude oil elasticity, oil-water separation, emulsions, petroleum processing

INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS

Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand

Abstract

Calcium carbonate scaling in plate heat exchangers poses significant operational challenges, including heat transfer reduction and increased maintenance costs. This study systematically investigates the influence of key operational parameters such as inlet water temperature, flow velocity, and supersaturation levels on scale formation rates. Laboratory-scale experiments utilizing real process fluids were designed to simulate industrial conditions. Scale deposits were characterized through scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) to analyze their morphology and crystalline structure. Results indicate that higher temperatures and lower flow velocities accelerate calcium carbonate nucleation and growth, leading to more severe scaling. Moreover, operational parameters affect the scale adhesion and detachment tendencies, impacting cleaning intervals. A predictive model based on thermodynamic and kinetic principles was developed to estimate scale formation under varying conditions. This model can aid in optimizing operational strategies and implementing preventive measures. The study contributes to prolonging heat exchanger lifespan, improving energy efficiency, and reducing downtime in thermal exchange operations across industries.

Keywords: calcium carbonate scaling, plate heat exchangers, operational parameters, scale formation, heat transfer efficiency

CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS

Dr. Priya Nair

Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Madras, India

Dr. Rajesh Kumar

Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

Abstract

Packed-bed reactors (PBRs) with integrated static mixers are widely utilized in catalytic and biochemical processing due to their enhanced mixing characteristics. This study employs computational fluid dynamics (CFD) to analyze flow dynamics, mixing efficiency, and pressure drop within PBRs equipped with static mixers. Various configurations of static mixing elements and packing materials were simulated to understand their effects on fluid velocity profiles, mass transfer rates, and residence time distribution. The CFD results revealed that appropriately designed static mixers disrupt channeling and dead zones, promoting uniform flow distribution and improved reactor performance. Pressure drop measurements provided insights into energy costs associated with different layouts. Validation of CFD predictions with experimental data showed strong correlation, endorsing the models for reactor scale-up and design optimization. This research facilitates informed design of PBRs for chemical and biochemical industries aiming for higher conversion rates and process intensification.

Keywords: packed-bed reactor, static mixers, CFD modeling, flow dynamics, mixing efficiency

DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS

Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansouri

Chemical Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Saudi Arabia

Abstract

Microchannel reactors offer unparalleled control over reaction and separation processes at microscale, enabling process intensification and enhanced selectivity. This study introduces the design and evaluation of guided structures within microchannels to facilitate simultaneous chemical reactions and separation of products. Using advanced microfabrication techniques, various guided geometries were created and tested for their impact on flow distribution, mass transfer, and separation efficiency. Computational simulations complemented experimental investigations, highlighting the interplay between structural parameters and reactor performance. Results demonstrate that guiding structures effectively reduce axial dispersion and enhance phase separation by inducing secondary flows and interfacial area expansion. This approach optimizes reaction yield and minimizes downstream separation steps, presenting a significant advancement for chemical synthesis and pharmaceutical manufacturing. The study outlines design criteria and operational guidelines for implementing these microreactors in industrial settings.

Keywords: microchannel reactors, reaction-separation integration, guided structures, process intensification, microfabrication

ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS

Dr. Grace Nwosu

Department of Environmental Chemistry, University of Lagos, Nigeria

Abstract

Heavy metal contamination of water sources, particularly with lead (Pb) and cadmium (Cd), presents grave environmental and public health risks. This research examines the efficacy of activated carbon derived from cashew nutshells as an economical and sustainable adsorbent for Pb(II) and Cd(II) ion removal from aqueous solutions. Activated carbon was prepared through chemical activation and characterized using BET surface analysis, FTIR, and SEM. Batch adsorption experiments were conducted to evaluate parameters including contact time, pH, initial metal concentration, and adsorbent dosage. Results show high adsorption capacities for both metals, with removal efficiencies exceeding 90% under optimized conditions. Adsorption kinetics followed pseudo-second-order models, indicating chemisorption mechanisms. Isotherm analyses suggested that Langmuir models best fit the data, highlighting monolayer adsorption. Regeneration studies demonstrated adsorbent reusability with minimal performance loss. This work supports the development of low-cost water treatment technologies utilizing agricultural waste, promoting circular economy principles in resource management.

Keywords: heavy metal removal, activated carbon, cashew shells, lead adsorption, cadmium adsorption

SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Prof. Dr. Beata Sezabo

Institute of Environmental Engineering, Warsaw University of Technology, Poland

Abstract

Soil contamination by organic pollutants poses severe ecological and health challenges. This study evaluates soil remediation using hydrogen peroxide (H_2O_2) oxidation, focusing on its effectiveness, technical feasibility, and environmental impacts. Laboratory-scale oxidation experiments assessed the degradation of persistent organic contaminants in various soil types. Parameters including H_2O_2 concentration, soil moisture, pH, and temperature were optimized for maximal remediation performance. Results indicated significant reductions in pollutant concentration, enhanced biodegradability, and minimal toxic by-product formation. Environmental assessments included analyses of soil microbial activity, physicochemical properties post-treatment, and potential secondary pollution risks. Comparisons with conventional remediation approaches underscored the advantages of H_2O_2 oxidation in terms of speed and environmental safety. The study proposes guidelines for field application and highlights the necessity of integrating oxidation with bioremediation to achieve sustainable soil restoration.

Keywords: soil remediation, hydrogen peroxide oxidation, organic contaminants, environmental assessment, sustainable treatment

EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK

Xiang W. Chen

School of Business Administration, Fudan University, China

Mei L. Wang

Department of Management, Shanghai Jiao Tong University, China

Liang K. Zhang

Faculty of Economics, Zhejiang University, China

Abstract

This study examines the dynamic relationship between business model innovation (BMI) and firm value, proposing an evolving framework that integrates current theoretical perspectives and empirical findings. As firms face rapid technological change and shifting market demands, innovating their business models has become vital for sustaining competitive advantage and enhancing firm valuation. Drawing upon a comprehensive review of literature and multiple case studies from diverse industries in China, the framework highlights key drivers, mechanisms, and outcomes of BMI on firm performance. The research underscores the importance of strategic alignment, organizational capabilities, and external environment in shaping how BMI contributes to financial and market-based measures of firm value. Additionally, the framework emphasizes the iterative nature of innovation processes and the necessity to adapt business models continuously in response to internal and external stimuli. Implications for managers include fostering a culture of innovation, leveraging digital technologies, and balancing exploration with exploitation. Limitations of the current research and directions for future studies, such as longitudinal analyses and cross-industry comparisons, are discussed. This evolving framework aims to guide both academic research and managerial practice in understanding the multifaceted impact of business model innovation on firm value creation.

Keywords: business model innovation, firm value, competitive advantage, strategic management, innovation framework

STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY

Behzad Rahmani

Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran

Reza Mirzaei

Faculty of Architecture, Tehran University, Iran

Abstract

This research addresses the challenges of designing a single-story control room structure for a petroleum refinery with enhanced blast resistance. Given the inherent risks of explosive incidents in refineries, ensuring structural integrity and safety is critical. The study applies advanced computational simulation techniques and standards-based structural design criteria to assess blast load impacts and propose optimal structural solutions. A finite element method (FEM) model of the control room was developed, incorporating material nonlinearities and dynamic loading parameters. Various blast scenarios were simulated to evaluate the structural response, identify potential failure modes, and recommend reinforcement strategies. Results demonstrate the effectiveness of specific design modifications in improving resilience against shock waves and debris impact. Additionally, the study considers cost-efficiency and constructability aspects of the proposed design. Findings contribute to the broader field of industrial safety engineering and offer practical guidelines for refinery infrastructure development. Future work may explore real-time monitoring systems and integration with risk assessment frameworks.

Keywords: structural design, blast resistance, finite element analysis, petroleum refinery, safety engineering

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES

E. Johnson

Department of Marketing, National Taiwan University, Taiwan

Abstract

This paper evaluates the environmental reporting practices within the chemical industry through a comparative analysis based on Global Reporting Initiative (GRI) disclosures. As environmental accountability gains prominence, transparent reporting serves as a critical tool for stakeholder engagement and regulatory compliance. The study analyzes the sustainability reports of fifteen leading chemical companies over a five-year period, assessing disclosure quality, completeness, and consistency with GRI standards. Using a mixed methods approach combining content analysis and stakeholder feedback surveys, the research identifies prevalent reporting trends and gaps. The findings reveal heterogeneity in adoption levels of GRI indicators, with variations linked to company size, geographic location, and ownership structures. Furthermore, the study discusses challenges faced by chemical sector firms in balancing operational confidentiality and stakeholder transparency. It highlights the importance of enhancing reporting frameworks to better capture environmental impacts and drive performance improvements. Recommendations for policy makers and practitioners include fostering harmonization of standards and capacity building for robust environmental reporting.

Keywords: environmental reporting, chemical industry, GRI standards, sustainability disclosure, corporate social responsibility

EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL

Mei-Ling Chang

Department of Marketing, National Taiwan University, Taiwan

Hui-Ling Huang

Institute of Service Science, National Cheng Kung University, Taiwan

Wan-Yu Yu

Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Chung-Lun Wei

Graduate Institute of Technology Management, National Tsing Hua University, Taiwan

Abstract

This paper introduces a novel model investigating the role of organizational and market fit in enhancing service innovation performance. Service innovation is recognized as a key driver of firm competitiveness, but its success depends heavily on the alignment— or 'fit'— between innovation strategies, organizational capabilities, and customer expectations. Drawing upon empirical data collected from 120 service firms across various sectors in Taiwan, the study employs structural equation modeling to test hypotheses related to strategic fit dimensions and their impact on innovation outcomes. Results indicate that both internal fit (alignment between strategy and resources) and external fit (alignment with market demand) significantly influence the efficiency and effectiveness of service innovation processes. The model further elucidates how managerial practices and customer feedback mechanisms mediate this relationship. Implications suggest that companies should focus on tailored strategic planning and adaptive resource allocation to maximize innovation value. Limitations and suggestions for future research on longitudinal data and cross-cultural applications are discussed.

Keywords: service innovation, strategic fit, organizational alignment, customer expectations, innovation performance

ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS

Dr. Alice Smith

Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Lec. John R. Thompson

Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Abstract

The digital workplace has transformed conventional employment landscapes, introducing complex ethical and legal challenges at the intersection of technology and organizational practice. This study explores the ethical dilemmas and regulatory frameworks relevant to digital work environments, focusing on issues such as data privacy, surveillance, digital misconduct, and employee autonomy. Through qualitative interviews with legal experts, ethics scholars, and organizational leaders from the UK and Australia, the research identifies prevailing concerns and diverse approaches to governance. The analysis highlights tensions between organizational control and individual rights, as well as the evolving nature of workplace norms in response to emerging technologies. The paper advocates for a multidisciplinary approach to policy development, emphasizing transparency, accountability, and inclusivity. It also proposes an ethical decision-making model tailored for digital workplace scenarios, supporting organizations in navigating legal compliance while fostering ethical cultures. Future directions include examining the impact of artificial intelligence and remote work trends on workplace ethics.

Keywords: digital workplace, workplace ethics, data privacy, legal compliance, organizational governance

ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH

Petra Novak

Department of Radiology, Charles University, Czech Republic

Pavel Novotny

Faculty of Biomedical Engineering, Czech Technical University, Czech Republic

Jan Hruska

Institute of Medical Informatics, Masaryk University, Czech Republic

Abstract

This paper presents recent technological advancements in regional medical imaging systems developed through collaborative efforts among leading Czech research institutions. Regional imaging, which focuses on specific body areas, has gained importance for precise diagnostics, minimally invasive interventions, and patient-specific treatment planning. The study reviews innovations including enhanced image resolution, integration of multimodal imaging techniques, and optimized data processing algorithms. Collaborative projects facilitated knowledge exchange and resource sharing, accelerating development cycles and improving clinical utility. Pilot clinical trials demonstrate improved diagnostic accuracy and workflow efficiency while maintaining patient safety. The research discusses challenges related to system interoperability, data standardization, and regulatory approval. Recommendations for future research address artificial intelligence integration, telemedicine compatibility, and cost-effective deployment strategies. The outcomes contribute to precision medicine and underline the value of interdisciplinary collaboration in medical technology innovation.

Keywords: medical imaging, regional imaging, diagnostic technology, interdisciplinary collaboration, precision medicine

INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY

Dr. Chang-hyun Lee

Department of Electrical Engineering, Seoul National University, South Korea

Min-seok Choi

Division of Microelectronics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea

Sang-hoon Kim

School of Electrical and Computer Engineering, Yonsei University, South Korea

Abstract

This study investigates the radio frequency (RF) permeability characteristics critical for integrating ultra-wideband sensor networks (USN) into system-on-chip (SoC) structures. The integration aims to enhance on-chip communication capabilities and enable efficient sensing applications within compact electronic devices. Using advanced electromagnetic simulation tools and experimental validation, the paper analyzes material properties, antenna design parameters, and signal propagation effects influencing RF permeability in SoC environments. A case study focusing on specific substrate materials representative of South Korean semiconductor technology was performed to evaluate integration feasibility. The findings provide design guidelines to optimize sensor performance while minimizing interference and power consumption. Potential applications span IoT devices, wearable electronics, and smart manufacturing systems. Challenges related to miniaturization and signal integrity are discussed, with proposals for future materials research and fabrication techniques.

Keywords: RF permeability, system-on-chip, ultra-wideband sensor networks, electromagnetic simulation, semiconductor integration

ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS

Sung Min Park

Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), South Korea

Hyun Jung Choi

Department of Telecommunications, Seoul National University, South Korea

Seung Woo Kim

School of Electronics and Communications, Korea University, South Korea

Ji Hyun Lee

Department of Aerospace Engineering, Hanyang University, South Korea

Sang Min Yoon

Institute of Satellite Engineering, Korea Aerospace Research Institute, South Korea

Abstract

This paper proposes an adaptive handoff detection algorithm that leverages the mobility information of the RCST (Remote Control Satellite Terminal) in satellite beam systems to improve the reliability and efficiency of satellite communication networks. Handoff management is critical in satellite systems due to the dynamic nature of satellite beams and the mobility of user terminals. The proposed algorithm dynamically adapts to changes in terminal mobility patterns and beam configurations, aiming to minimize dropped connections and improve signal quality. By integrating real-time mobility data, the algorithm predicts when handoffs should be initiated to maintain continuous connectivity. Simulation results demonstrate significant improvements in handoff detection accuracy and network performance under varying mobility scenarios. Furthermore, the method reduces unnecessary handoffs, thereby decreasing signaling overhead and power consumption. This research contributes to the advancement of satellite communication technologies, particularly relevant for mobile users in broadband satellite systems, offering potential applications in telecommunication, maritime, and aeronautical connectivity environments.

Keywords: satellite communication, handoff detection, RCST mobility, adaptive algorithms, satellite beam systems

INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES

Fatima Al-Hassan
Ganesh Kothapalli
Majid Tolouei-Rad

Department of Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals,
Saudi Arabia

Abstract

This research addresses the integration of advanced vision systems with simulation software to enhance the capabilities and flexibility of industrial robots. Vision systems enable robots to perceive, interpret, and respond to dynamic environments, while simulation software facilitates design, testing, and optimization of robotic tasks before deployment. By combining these technologies, the study demonstrates improved accuracy in object identification, motion planning, and adaptive control in industrial applications. The integrated system allows for real-time feedback and adjustment, reducing downtime and increasing production efficiency. Experimental validation was conducted using robotic arms in assembly-line scenarios, showing a notable reduction in errors and enhanced adaptability to varying components and workflows. This approach supports industries aiming to implement Industry 4.0 principles by leveraging automation and smart manufacturing processes. The paper discusses the technical challenges in system integration and proposes future directions to incorporate machine learning techniques for further autonomy in robotics.

Keywords: industrial robots, vision systems, simulation software, automation, Industry 4.0

MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES

Assist. Prof. Dr. Wei-Lin Chang

Department of Psychiatry, National Taiwan University Hospital, Taiwan

Hsiao-Mei Lin

School of Nursing, National Yang Ming Chiao Tung University, Taiwan

Abstract

Unplanned extubation (UE) poses a severe threat to patient safety in psychiatric long-term care facilities, where patients may display agitation or cognitive impairments increasing the risk of accidental or self-removed tubes. This study evaluates current clinical practices, environmental factors, and staff interventions aimed at minimizing UE incidents. Employing a mixed-methods approach comprising incident data analysis, staff interviews, and patient behavior monitoring across several long-term psychiatric wards, the research identifies key risk factors and effective mitigation strategies. Implementation of tailored protocols including enhanced monitoring, staff education, environmental modifications, and patient-centered care practices led to a significant reduction in UE rates. The study highlights the importance of multidisciplinary collaboration and ongoing staff training to manage risks effectively. Findings inform policy recommendations and contribute to improving the safety and quality of psychiatric long-term care settings globally.

Keywords: unplanned extubation, psychiatric care, patient safety, risk management, long-term care

ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS

A. Ahmadi

Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran

M. Rezaei

Faculty of Transportation Engineering, University of Tehran, Iran

Abstract

Bus Rapid Transit (BRT) systems represent a cost-effective and sustainable urban transportation solution but face operational challenges such as congestion, scheduling inefficiencies, and traffic signal delays. This paper presents an enhanced intelligent transportation system (ITS) framework designed to optimize BRT operations through real-time data analytics, vehicle-to-infrastructure communication, and adaptive traffic control strategies. The proposed ITS integrates GPS tracking, passenger load sensing, and advanced algorithms to streamline bus movements, reduce dwell times, and improve on-time performance. Implementation in a major metropolitan BRT corridor in Tehran demonstrated a marked increase in average speeds, reduced passenger wait times, and improved reliability. By leveraging emerging technologies and smart infrastructure, the system offers scalable solutions for urban transit agencies seeking to elevate BRT efficiency and commuter experience. Future work will explore integration with multimodal systems and autonomous vehicle frameworks.

Keywords: intelligent transportation systems, BRT operations, traffic management, adaptive control, urban transit

ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES

John Smith
Alice Johnson
Michael Lee
Sarah Brown

Department of Cybersecurity, National University of Singapore, Singapore

Abstract

The rapid expansion of e-learning platforms has increased the demand for robust information security measures, particularly for authenticating users and safeguarding sensitive educational data. This paper investigates state-of-the-art human identification techniques, including biometric authentication, behavioral analytics, and multi-factor identification methods, that enhance security in e-learning environments. The study analyzes the effectiveness, accuracy, and usability of various approaches through empirical evaluation on popular e-learning platforms. Results indicate that combining biometric traits—such as fingerprint, facial recognition—with behavioral patterns like keystroke dynamics significantly reduces unauthorized access and identity fraud. The paper also discusses privacy concerns and proposes a security framework balancing robustness and user convenience for diverse educational settings. This research supports e-learning providers in developing secure, trustworthy systems that protect learners and educators alike.

Keywords: e-learning security, human identification, biometric authentication, cybersecurity, user verification

ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR

Ming Li

School of Management, Shanghai Jiao Tong University, China

Fang Wang

Department of Industrial Engineering, Zhejiang University, China

Abstract

Grey incidence analysis, a method for evaluating uncertain and incomplete information, has gained prominence in logistics for decision-making under complexity. This study examines grey incidence applications within the macroscopic logistics sector, focusing on supply chain performance, risk assessment, and strategic planning. Utilizing empirical data from major logistics firms in China, the research models relationships among key variables such as delivery time, cost efficiency, and environmental impact. Findings demonstrate grey incidence methods' effectiveness in revealing hidden correlations and guiding managerial decisions amid uncertainty. The paper also explores how grey system theory complements conventional statistical approaches and proposes integrated frameworks for comprehensive logistics analysis. Implications include improved resource allocation, enhanced resilience, and informed policy-making in dynamic market conditions.

Keywords: grey incidence analysis, logistics sector, supply chain management, decision-making, uncertainty

EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS

Ming-Hua Wang

Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taiwan

Bo-Chiuan Chen

School of Computer Science, National Tsing Hua University, Taiwan

C. W. Hsu

Institute of Network Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

Abstract

Dedicated Short-Range Communications (DSRC) form a critical component of intelligent transportation systems, facilitating vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication. This paper investigates the performance challenges of DSRC radio testbeds under high channel traffic conditions, which simulate real-world congested scenarios. The study evaluates communication latency, packet loss, and network throughput across varying traffic intensities using controlled experiments on multiple testbed configurations. Results reveal degradation in reliability and efficiency as channel traffic increases, posing constraints on safety-critical applications. The analysis identifies interference and resource contention as primary limiting factors. Proposed solutions include dynamic channel allocation, enhanced medium access control protocols, and interference mitigation techniques. These findings contribute to the development of resilient DSRC networks essential for future connected vehicle technologies and smart city infrastructures.

Keywords: DSRC, radio testbeds, channel traffic, intelligent transportation systems, network performance

EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA

Dr. Nurul Hidayah Abdullah

Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Ahmad Faisal Mohd Zain

School of Building and Property, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Abstract

Delayed payments significantly impact project timelines, cost overruns, and contractor cash flow within Malaysia's construction sector. This study analyzes the prevalence, causes, and consequences of delayed payment issues through a comprehensive survey of construction companies and stakeholders. Key contributing factors identified include bureaucratic inefficiencies, contract ambiguities, and economic fluctuations. The research further assesses the effectiveness of existing legal frameworks and industry practices in addressing payment delays. Recommendations are provided to enhance contract management, improve stakeholder communication, and implement stricter enforcement mechanisms to mitigate payment risks. These findings aim to assist policymakers, contractors, and clients in fostering a more reliable and sustainable construction industry landscape in Malaysia.

Keywords: delayed payments, construction sector, Malaysia, contract management, project finance

ANALYSIS OF PAYMENT DELAYS AND THEIR IMPACT ON THE CONSTRUCTION INDUSTRY IN MALAYSIA

Siti Nur Aisyah

Department of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Abstract

Payment delays have long been a persistent challenge in Malaysia's construction industry, adversely affecting both project completion and overall economic performance. This study provides a comprehensive analysis of the causes and consequences of payment delays among stakeholders, including contractors, subcontractors, and suppliers. Primary data were collected from structured interviews and surveys with industry professionals, complemented by the review of contractual case studies and secondary data from government reports. The research identifies key factors such as bureaucratic approval processes, financial mismanagement, late certification, and clients' cash flow issues. Delays were found to contribute to increased project costs, disputes, declining productivity, and, in extreme cases, contractual terminations. The negative impacts also extend to workforce morale and the country's attractiveness to foreign investment. Mitigation strategies discussed include the adoption of digital payment tracking systems, the enforcement of stricter regulatory frameworks, and improved contractual stipulations. These measures are found to reduce ambiguity in payment timelines and enhance trust among project participants. The study concludes that systemic changes, alongside sustained stakeholder collaboration, are necessary to foster a healthier construction payment environment in Malaysia.

Keywords: construction industry, payment delays, project management, Malaysia, stakeholder collaboration

EVALUATING THE PROGRESS OF MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS IN LIBYA'S INDUSTRIAL SECTOR

Muna Al-Faraj

Department of Industrial Engineering, University of Tripoli, Libya

Abstract

The modernization of manufacturing control systems is critical for the sustainable growth of Libya's industrial sector, especially in the post-conflict recovery era. This research evaluates the current status, adoption level, and challenges faced in implementing advanced control systems across various Libyan industries. A mixed-methods approach comprising field observations, structured interviews, and analysis of operational data was employed. The findings reveal a gradual transition from manual and semi-automated systems to more sophisticated programmable logic controllers (PLCs) and real-time monitoring technologies. However, several obstacles hamper progress, including infrastructural deficits, shortages of technical expertise, and intermittent power supply. The study notes a positive correlation between the integration of modern control systems and improvements in productivity, safety, and resource optimization. Recommendations include targeted workforce training, public-private partnerships for technology investment, and leveraging international collaborations to accelerate digital transformation. The research illustrates how systemic support and capacity-building efforts are vital to strengthen Libya's manufacturing sector and foster resilience in the global marketplace.

Keywords: manufacturing control systems, industrial modernization, Libya, automation, digital transformation

COMPARATIVE STUDY OF ENVIRONMENTAL REPORTING IN THE CHEMICAL INDUSTRY: GRI STANDARDS APPLICATION

Dr. Emily Thompson

Department of Industrial Engineering, University of Tripoli, Libya

Abstract

Environmental reporting is essential for enhancing transparency and sustainability in the chemical industry. This comparative study examines the application of the Global Reporting Initiative (GRI) standards among leading chemical companies across Europe, North America, and East Asia. Through a systematic review of publicly available reports and structured interviews with sustainability managers, the study evaluates reporting practices, the depth of environmental disclosures, and the integration of GRI standards into corporate strategies. Findings highlight variations in the comprehensiveness and quality of reporting across regions, with European firms demonstrating more advanced integration and robust stakeholder engagement. Factors influencing effective GRI adoption include regulatory requirements, public scrutiny, and organizational culture. Notably, firms that prioritize comprehensive GRI-based reporting show tangible benefits in risk management, investor confidence, and reputation. The paper concludes with recommendations for harmonizing reporting practices, promoting standardization, and encouraging industry-wide transparency by sharing best practices.

Keywords: environmental reporting, chemical industry, GRI standards, sustainability, corporate transparency

DESIGN AND BLAST RESISTANCE ANALYSIS OF SINGLE-STORY CONTROL FACILITIES IN PETROLEUM REFINERIES

Khaled Al-Mahdi
Omar Farouk

Department of Mechanical Engineering, Cairo University, Egypt

Abstract

With increasing safety concerns in petroleum refineries, blast resistance has become a crucial consideration for control facility design. This study presents a detailed analysis of the architectural and structural features that enhance the blast resilience of single-story control facilities. Utilizing finite element modeling and performance-based design simulations, the research evaluates different construction materials, structural geometries, and energy-dissipating systems under variable blast loads. Empirical data were gathered from recent refinery projects in the Middle East and North Africa. Results indicate that reinforced concrete with additional steel bracing and strategic layout planning significantly improves resistance to explosive forces. The study also investigates post-blast survivability of critical systems to ensure facility operability. Design recommendations include the use of flexible foundations, blast-proof glazing, and integrated early-warning systems. By synthesizing engineering best practices, the research supports safer and more robust infrastructure development in high-risk environments.

Keywords: blast resistance, control facilities, petroleum refinery, structural engineering, safety design

IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON CORPORATE VALUATION: A DYNAMIC FRAMEWORK

Wei Zhang

School of Business, Tsinghua University, China

Li Mei

School of Management, Fudan University, China

Jian Liu

School of Economics, Peking University, China

Abstract

Business model innovation (BMI) serves as a critical driver of corporate competitiveness and value creation in the rapidly evolving global market. This paper introduces a dynamic conceptual framework linking business model redesign with shifts in firm valuation metrics. Through a longitudinal sample of publicly listed Chinese enterprises, the research analyzes quantitative data on market capitalization and accounting performance, alongside qualitative insights from executive interviews. The study finds that firms adopting BMI—such as platform-based operations, recurring revenue streams, and ecosystem partnerships—experience superior market valuation and sustained growth compared to traditional models. Key mediators of this impact include agility in resource reallocation, strategic alignment, and technological integration. The framework also addresses the feedback mechanism between investor perceptions and ongoing innovative adjustments. Recommendations focus on nurturing a culture of continuous innovation and aligning valuation assessment models to accurately capture the value derived from non-traditional business architectures.

Keywords: business model innovation, corporate valuation, dynamic framework, value creation, China

THE ROLE OF ALIGNMENT IN BOOSTING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NEW CONCEPTUAL MODEL

Chun-Hua Lin

School of Business, National Chengchi University, Taiwan

Mei-Ying Huang

Department of Management, National Taiwan University, Taiwan

Yu-Fen Wu

Institute of Innovation Management, National Chiao Tung University, Taiwan

Abstract

Effective alignment between organizational elements—strategy, structures, technologies, and human capital—is increasingly recognized as critical for driving service innovation performance. This paper proposes a new conceptual model illustrating how different types of alignment synergistically boost service innovation outcomes within Taiwanese service enterprises. Comprehensive case studies, coupled with survey data from 300 service-sector managers, underpin the analysis of alignment practices and their correlation with innovation metrics such as speed to market, service quality, and customer satisfaction. The model demonstrates that internal alignment fosters cross-functional collaboration and agility, while external alignment with customers and partners promotes responsiveness to emerging trends. The findings emphasize the importance of strategic coherence at all organizational levels, advocating tailored alignment strategies per innovation context. Policy and managerial implications include fostering interdepartmental coordination, investing in workforce training, and leveraging digital tools to enhance alignment and innovation capabilities.

Keywords: service innovation, organizational alignment, conceptual model, Taiwan, performance improvement

PROMOTING LOW-CARBON TRANSITION IN CHINA'S TRADITIONAL MANUFACTURING INDUSTRIES

Jing Wei

Institute of Environmental Policy, Renmin University of China, China

Abstract

Transitioning traditional manufacturing industries toward low-carbon operations is central to achieving China's ambitious climate targets. This paper evaluates policies, strategies, and technological innovations facilitating low-carbon transformation within major manufacturing clusters in China. Using case studies and policy review, the study highlights best practices in energy efficiency, renewable integration, and process optimization. Regulatory incentives, financial mechanisms, and public-private collaborations are shown to be pivotal in accelerating decarbonization. The research identifies barriers such as capital constraints, technology adoption rates, and knowledge gaps, while proposing policy recommendations to address these challenges. The findings suggest that coordinated efforts at both enterprise and government levels are fundamental to successful sector-wide transformation. The paper concludes by discussing implications for national policy, industry competitiveness, and international climate cooperation, underscoring the need for continuous innovation and systemic change.

Keywords: low-carbon transition, manufacturing, China, climate policy, industrial innovation