

January/Ocak 2025



Vol/Cilt: 10

journal of ANATOLIAN ENVIRONMENTAL & ANIMAL SCIENCES

ISSN 2548-006

JAES

No/Sayı: 1





Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

(Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi)

E-ISSN 2548-0006

JAES

AÇEH

31.01.2025

Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi

*Journal of Anatolian
Environmental and Animal Sciences*

Cilt/Volume 10 • Sayı/Number 1 • 2025



Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

Cilt /Volume: 10, Sayı / Number: 1, Yıl / Year: 2025

(Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi)

Üç ayda bir yayımlanır / Published every three monthly.

E-ISSN: 2548-0006

JAES
AÇEH

Sahibi

Prof. Dr. Bülent VEREP & Prof. Dr. Fikri BALTA

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Baş Editör / Editor-in Chief

Prof. Dr. Bülent VEREP

Recep Tayyip Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Bölümü, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, 53100 Rize, Türkiye

Baş Editör Yardımcıları / Co-Editor in Chief

Prof. Dr. Fikri BALTA

Prof. Dr. Turan YÜKSEK

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Hastalıklar Anabilim Dalı, Türkiye
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Bitki Materyali ve Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Türkiye

Ana Editörler / Main Editors

Prof. Dr. Nüket SİVRİ, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Arzu Funda BAĞCIGİL, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veterinerlik Fakültesi
Prof. Dr. Alper ÇİFTÇİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Davut TURAN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gülay ÇİFTÇİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Tamer AKKAN, Giresun University, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Engin Derya GEZER, Karadeniz Teknik Üni., Orman Fakültesi
Prof. Dr. Yavuz MAZLUM, İskenderun Teknik Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Önder Yıldırım, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Fatih Şaban BERİŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Muhammet Mustafa AKINER, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Şenol AKIN, Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi

Editörler Kurulu / Editorial Boards

Prof. Dr. Ahmet ALP, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
Prof. Dr. Athanasios KUNGOLOS, School of Engineering, Aristotle Univ. of Thessaloniki, Greece
Prof. Dr. Cemalettin ŞAHİN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Davut TURAN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gökhan ABAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Güzel San. Tas. ve Mim. Fakültesi
Prof. Dr. İliya TSACHEV, Trakia University Faculty of Veterinary Medicine
Prof. Dr. İlkey Erdoğan ORHAN, Gazi Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi
Prof. Dr. Jinho JUNG, Korea University Env. Sci. and Eco. Eng.
Prof. Dr. Şevki KAYIŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Levent BAT, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Muhammed TÜRKOĞLU Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Deniz Bil. ve Tek. Fakültesi
Prof. Dr. Muhammet BORAN, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN, Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Nadir Başçınar, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Orhan Karslı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Ricardo PEREZ ENRIQUEZ, Genetica Acuicola Programa de Acuicultura Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste Mexico.
Prof. Dr. Semih ENGİN İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Şengül A. KARAOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Vagif ATAMOV, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Cengiz MUTLU, Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
Prof. Dr. Emre ÇAĞLAK, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ertan Emek ONUK, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Ferhat KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Gökmen Zafer PEKMEZCİ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Prof. Dr. Huriye Arman Karabulut, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. İlker Zeki KURTOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Serkan KORAL, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Mehmet AYDIN, Ordu Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Yusuf BEKTAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ömer Lütfü ÇORBACI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Müh. ve Mimarlık Fakültesi
Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Erol ÇAPKIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Hınkar Avni DUYAR, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Savaş YILMAZ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Fatih İSLAMOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Prof. Dr. Ramazan SEREZLİ, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Serhat KÜÇÜKALİ, Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Aysun TÜRKMEN, Giresun Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO
Prof. Dr. Cemalettin BALTACI, Gümüşhane Üniversitesi, Gıda Bilimleri ve Mühendisliği
Prof. Dr. Coşkun ERÜZ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Ekrem Şanver ÇELİK, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Deniz Bil. ve Tek. Fakültesi
Prof. Dr. Ayşegül ÇEBİ, Giresun Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Hacer EMİRAL, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi
Prof. Dr. Kenan GEDİK, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, MYO
Prof. Dr. Ülgen AYTAN, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. Ahmet Raif ERYAŞAR, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, MYO
Prof. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAĞLU, Giresun Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Doç. Dr. Ertuğrul TERZİ, Kastamonu Üniversitesi, Devrekani Türkiye Oda. ve Bors Birliği MYO
Doç. Dr. Tuba ERGÜL KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Doç. Dr. İlhan YANDI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi
Doç. Dr. Rahşan Evren MAZLUM, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Tülay ÇAĞATAY, Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Gülbin FİRİDİN, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre ABD.
Doç. Dr. Sükrü ÖNALAN, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Muhammed DUMAN, Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi
Doç. Dr. Erhan ÇİLOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi
Doç. Dr. Fatma Delihasan SONAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Gökhan KALAYCI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Hatice ONAY, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Hazal BAYTAŞOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Barış KARSLI, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Doç. Dr. Koray ÖZSEKER, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü
Doç. Dr. Oğuz KURDOĞLU, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi
Doç. Dr. Nimet Selda BAŞÇINAR, Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü
Dr. Hakan KARAOĞLU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Christina EMMANOUL, Aristotle University of Thessaloniki School of Engineering
Dr. Ayşe DEMİRBAŞ, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Münevver ORAL, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Öğ. Üyesi Salih KUMRU, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Dr. Öğ. Üyesi Şafak KALINDAMAR, Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Dergi Adresi / Journal Address

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,
Zihni Derin Yerleşkesi, Fener Mah., 53100, Rize / Turkey.

Tel: 90 464 223 33 895-1438 ve 1436

Fax: 90 464 223 41 18

İletişim / Communication: jaestr61@gmail.com, jaes-tr@hotmail.com

Yayın Türü: Yaygın süreli ve hakemli / Longturn and peer-reviewed published

Yayın Tarihi / Publication Date: 31.01.2025

Tüm hakları saklıdır. Bu Derginin tamamı ya da Dergide yer alan bilimsel çalışmaların bir kısmı ya da tamamı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi sahibi yazılı izni olmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

İnternet Adreslerimiz / Web Addresses

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/jaes>



İÇİNDEKİLER / TABLE OF CONTENTS

	Makale Türü Article Type	Sayfa No Page No
kentsel ısı adası etkisinin mekânsal ve zamansal değişimlerle ilişkisi: Sistematik bir literatür analizi. Relationship of urban heat island effect with spatial and temporal changes: A systematic literature analysis. Halil DUYMUŞ, Seyhan SEYHAN, Mehtap ÖZENEN-KAVLAK & Alper ÇABUK	Araştırma Research	1-14
Green campus initiatives: Assessing the impact and necessity of sustainable practises in higher education institutions. Yeşil kampüs girişimleri: Yükseköğretim kurumlarında sürdürülebilir uygulamaların etkisi ve gerekliliğin değerlendirilmesi. Huriye Simten SÜTÜNÇ	Araştırma Research	15-24
Marmara Denizi'nde doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden toplanan Akdeniz midyesi (<i>Mytilus galloprovincialis</i> , Lamarck, 1819) dokularında iz elementlerin konsantrasyonlarının karşılaştırılması. Comparison of trace element concentrations in tissues of Mediterranean mussel (<i>Mytilus galloprovincialis</i> , Lamarck, 1819) collected from natural environment and aquaculture facilities in the sea of Marmara Tolga AKDEMİR	Araştırma Research	25-33
Rize koşullarında GAP mavis (<i>Lathyrus sativus</i> L.) mürdümük çeşidinin fenolojik, morfolojik ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Determination of phenological, morphological and quality characteristics of GAP mavis (<i>Lathyrus sativus</i> L.) grasspea variety under Rize conditions. Muhammed İkbâl ÇATAL & Cengiz SANCAK	Araştırma Research	34-39
Distemperli Köpeklerde Sekonder Bakteriyel Enfeksiyonların Hemogram Değerleri ve Davranışlar Üzerine Etkisi. The Effect of Secondary Bacterial Infections on Haemogram Values and Behaviour in Dogs with Distemper. Derya KARATAŞ YENİ, Yavuzkan PAKSOY, Duygu ARSLAN & Muhammed Can GÖKMEN	Araştırma Research	40-47
Sürdürülebilir bitki bazlı az yağlı salata sos üretimi. Sustainable plant-based low-fat salad dressing production. Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK	Araştırma Research	48-55
Evaluation of fatty acid profile and fatty acid-related nutritional quality indices of zebra mussel (<i>Dreissena polymorpha</i>). Zebra midyesinin (<i>Dreissena polymorpha</i>) yağ asidi profili ve yağ asidine bağlı besinsel kalite indekslerinin değerlendirilmesi. Nida DEMİRTAŞ	Araştırma Research	56-62
Su ürünleri üretimine yönelik sanal gerçeklik ortamının etkileşimli öğretim materyali olarak geliştirilmesi. Development of virtual reality environment for aquaculture as interactive teaching material. Erdinç VESKE & Hijran YAVUZCAN YILDIZ	Araştırma Research	63-68
Kızılcım (<i>Pinus brutia</i> Ten.) ve karaçam (<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold.) ormanlarında farklı yaklaşımlarla gösterge bitki türlerinin analizi. Analysis of indicator plant species in red pine (<i>Pinus brutia</i> Ten.) and black pine (<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold) forests with different approaches. Aysegül TEKEŞ & Kürşad ÖZKAN	Araştırma Research	69-78
Comparative assessment of fecal microbiota in healthy and epileptic dogs. Sağlıklı ve epileptik köpeklerde fekal mikrobiyotanın karşılaştırmalı değerlendirmesi. Nilgün AKSOY, Şeyda YAMAN & Alper ÇİFTÇİ	Araştırma Research	79-86
Düzeltilme: Examination of Ecosystem Services: A Case Study of Amasya University Hakimiyet Campus Sultan Sevinç Kurt Konakoğlu, Kadir Tolga Çelik, Tuğba Üstün Topal, Öner Demirel, M. Bihter Bingül Bulut	Araştırma Research	521-527



Kentsel Isı Adası Etkisinin Mekânsal ve Zamansal Değişimlerle İlişkisi: Sistematik Bir Literatür Analizi [*]

Halil DUYMUS^{1*} Seyhan SEYHAN² Mehtap ÖZENEN-KAVLAK^{3*,4} Alper ÇABUK^{5,6}

¹Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

²Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

³Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul Üniversitesi, 34398, Sarıyer, İstanbul, Türkiye

⁴Yer ve Uzak Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 26555, Eskişehir, Türkiye

⁵Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, 26555, Eskişehir, Türkiye

⁶TAPLAK, Tasarım ve Planlama Akreditasyon Derneği, Eskişehir, Türkiye

Geliş Tarihi: 04.12.2024

Kabul Tarihi: 24.12.2024

Basım Tarihi: 31.01.2025

Atıf yapmak için: Duymuş, H., Seyhan, S., Özenen Kavlak, M. & Çabuk, A. (2025). Kentsel Isı Adası Etkisinin Mekânsal ve Zamansal Değişimlerle İlişkisi: Sistematik Bir Literatür Analizi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.35229/jaes.1596060>

How to cite: Duymuş, H., Seyhan, S., Özenen Kavlak, M. & Çabuk, A. (2025). Relationship of Urban Heat Island Effect with Spatial and Temporal Changes: A Systematic Literature Analysis. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 1-14. <https://doi.org/10.35229/jaes.1596060>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-8113-9674>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-6046-5024>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-5369-4494>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-0684-2247>

***Sorumlu yazarın:**

Halil DUYMUS

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Adana, Türkiye
✉: hduymus@cu.edu.tr

Öz: Kentsel ısı adası (KIA) etkisi, kentsel alanlardaki sıcaklıkların kırsal çevrelere göre artışıyla karakterize edilen ve çevresel kalite, insan sağlığı ve kentsel sürdürülebilirlik üzerinde önemli etkileri olan bir olgudur. Bu sistematik literatür incelemesi, dünya genelindeki farklı şehirlerde kentsel ısı adası etkisinin mekânsal ve zamansal değişimleri üzerine yapılan çalışmaları incelemeyi amaçlamaktadır. 2024 yılı içerisinde konu ile ilgili güncel ve yüksek atıf almış çalışmaların yanı sıra Temmuz 2024'e kadar Science Direct, Taylor&Francis, MDPI ve SpringerLink gibi farklı veri tabanlarında arama yapılarak çalışmalar incelenmiştir. Araştırma veri tabanları üzerinden "KIA, kentsel ısı adası, yüzey kentsel ısı adası, YKIA" anahtar kelimeleri kullanılarak mekânsal ve zamansal değişimler üzerine yapılan çalışmalar taranmıştır. Tam metinler, atıflar ve özetler değerlendirme için kullanılmıştır. Çalışmada hakemli çalışmalar incelenerek, kentsel ısı adası yoğunluğunu etkileyen ana faktörler belirlenmiştir. Ayrıca, kentsel ısı adası araştırmalarında kullanılan yöntemler, uzaktan algılama tekniklerinden saha ölçümleri ve modelleme yaklaşımlarına kadar ele alınmıştır. Bulgular, kentsel ısı adası etkilerini azaltılmasında bütüncül kentsel planlama ve yeşil altyapı uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Hazırlanan tabloda kaynak/referans, amaç ve hedefler, metodoloji ve son olarak çalışmaların bulgularına yer verilmiştir. Bu kapsamlı kentsel ısı adası araştırma sentezi, sürdürülebilir ve dirençli kentsel çevreler geliştirmeyi hedefleyen şehir plancıları, politika yapıcılar ve araştırmacılar için değerli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kentsel planlama ve tasarım, mekânsal ve zamansal değişimler, uzaktan algılama, kentsel ısı adası.

Relationship of Urban Heat Island Effect with Spatial and Temporal Changes: A Systematic Literature Analysis

Abstract: The urban heat island effect is a phenomenon characterised by an increase in temperatures in urban areas relative to rural environments. This phenomenon has significant impacts on environmental quality, human health, and urban sustainability. This systematic literature review aims to analyse studies on the spatial and temporal variations of the urban heat island effect in different cities around the world. In addition to the most recent and highly cited studies on the subject published in 2024, studies were examined by searching different databases, including Science Direct, Taylor & Francis, MDPI, and SpringerLink, until July 2024. A search of research databases was conducted using the keywords 'UHI', 'urban heat island', and 'surface urban heat island', in order to identify studies on spatial and temporal changes. The evaluation was based on the analysis of full texts, citations, and abstracts. In this study, peer-reviewed studies were subjected to analysis, with a view to identifying the principal factors affecting the intensity of the urban heat island. Furthermore, the methodologies employed in urban heat island research are examined, encompassing remote sensing techniques, field measurements, and modelling approaches. The findings underscore the significance of comprehensive urban planning and green infrastructure practices in mitigating urban heat island effects. The table presents the source/reference, aims and objectives, methodology, and finally, the findings of the studies. This comprehensive synthesis of urban heat island research offers valuable insights for urban planners, policy makers, and researchers striving to develop sustainable and resilient urban environments.

***Corresponding author's:**

Halil DUYMUS

Çukurova University, Faculty of Architecture,
Department of Landscape Architecture, Adana,
Türkiye ✉: hduymus@cu.edu.tr

Keywords: Urban planning and design, Spatial and temporal changes, Remote sensing, Urban heat island.

GİRİŞ

21. yüzyılda insanlığın karşılaştığı en büyük problemlerden birisi kentsel ısı adası (KIA) etkisidir. KIA etkisi, kent merkezlerinin çevrelerine göre daha yüksek sıcaklığına sahip olması durumudur. Bu durum kentleşme ve insan faaliyetleri sonucunda ortaya çıkmaktadır ve yoğun yapılaşma, asfalt ve beton yüzeylerin artması, yeşil alanların azalması, motorlu taşıt kullanımının artması ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Oke, 1982). Son dönemde yapılan çalışmalarda, yeşil alanların azalmasının ve kentsel ısı adası etkisinin artışının, özellikle yaz aylarında belirgin hale geldiği ve yüksek yoğunluklu şehir merkezlerinde sıcaklıkların çevre alanlara göre 10°C'ye kadar fark gösterdiği belirtilmektedir (Semenzato ve Bortolini, 2023).

KIA etkisinin anlaşılması ve yönetilmesi, sürdürülebilir kentsel yaşam ve iklim değişikliği ile mücadelede kritik bir öneme sahiptir. KIA, kentlerin enerji tüketimini ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini artırmaktadır (Grimmond, 2007). Enerji tüketimindeki artış, fosil yakıt kullanımını ve dolayısıyla sera gazı salınımını artırarak küresel iklim değişikliğini daha da etkilemektedir (Santamouris, 2015). Aynı zamanda insanların enerji ihtiyaçlarını artırarak çevresel ve halk sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle sıcak hava dalgaları sırasında şehirlerdeki ısı stresi, sıcak çarpması ve diğer sıcaklıkla ilişkili sağlık sorunları daha yüksek seviyelere ulaşabilmektedir (Kovats ve Hajat, 2008). Bu kapsamda, 2023 yılında yapılan bir çalışmada, kentsel yeşil alanların genişletilmesi ile sıcaklıkların düşürülebileceği ve enerji tüketiminin %20'ye kadar azaltılabileceği vurgulanmıştır (Pritpadmaja ve Garg, 2023).

KIA, şehirlerdeki malzeme ve enerji akışını etkileyerek, şehir ekosistemlerinin yapısını ve işlevlerini değiştirmektedir. Bu da kent iklimlerini, hidrolojik durumlarını, toprak özelliklerini, atmosferik çevresini, biyolojik alışkanlıklarını ve şehir sakinlerinin sağlığı üzerinde bir dizi ekolojik ve çevresel etki oluşturmaktadır. Bu noktada kentlerde, KIA etkisini azaltmak için yeşil altyapı uygulamaları, yeşil alanların artırılması, yansıtıcı yapı malzemelerinin kullanımı ve sürdürülebilir şehir planlama stratejileri önerilmektedir (Debbage ve Shepherd, 2015; Stone vd., 2012). Özellikle, 2024 yılı çalışmaları, daha yüksek bina gölgelenmesinin mahalle yüzey sıcaklıklarını anlamlı şekilde düşürdüğünü ve bunun KIA etkisini azaltmada önemli bir faktör olduğunu göstermiştir (Li vd., 2024). Bu stratejiler binaların enerji verimliliğini artırmakta, enerji tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltmaktadır (Zhao ve Magoulès, 2012). Şehir içi ulaşımın çevresel etkilerinin azaltılması ile daha düşük karbon ayak izine sahip şehirler oluşturulmaktadır (Banister, 2008). Yeşil altyapı uygulamalarıyla (yeşil çatılar, dikey bahçeler ve kent parkları gibi uygulamalar), şehirlerdeki sıcaklıklar

düşürülerek enerji tüketiminin azaltılması sağlanmaktadır (Bowler vd., 2010; Mohajerani vd., 2017). Aynı zamanda yeşil alt yapı uygulamaları ile biyolojik çeşitliliğin korunması sağlanarak kentlerde ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesine de katkıda bulunmaktadır (Tzoulas vd., 2007). Bu stratejiler binaların enerji tüketimini önemli ölçüde azaltarak, özellikle yaz aylarında soğutma enerjisi ihtiyacını karşılamaktadır (Li vd., 2019). Ayrıca kentlerin su yönetimini iyileştirerek sürdürülebilir bir kent yaşamı desteklenmektedir (Cheng vd., 2021). Yeni çalışmalar, su ve yeşil alan entegrasyonunun hem KIA etkisini azaltmada hem de biyolojik çeşitliliği korumada kilit bir strateji olduğunu göstermektedir (Thambawita vd., 2023). Sonuç olarak, küresel iklim değişikliği ve KIA etkisi ile mücadelede yeşil altyapı ve entegre kent planlaması stratejilerinin önemi büyüktür. Bu yaklaşımlar, enerji tüketimini azaltarak daha sürdürülebilir ve yaşanabilir şehirler oluşturmak için kritik bir rol oynamaktadır (Santamouris, 2015).

KIA etkisi, şehirlerdeki mekânsal ve zamansal değişimlerin doğrudan bir sonucudur. Bu noktada kentsel yerleşim düzeni, yüzey malzemelerinin özellikleri, hava ve iklim koşulları, yerel meteorolojik faktörler, şehirlerin fiziksel, yapısal ve morfolojik özelliklerindeki mekânsal ve zamansal değişimler, KIA etkisini belirleyen önemli faktörlerdir (Santamouris, 2015; Wang vd., 2016). Kentlerin yapılaşma biçimi ve düzeni, rüzgâr akışını ve gölgeleme etkilerini belirlemektedir. Yüksek binalar, dar sokaklar ve azalan yeşil alanlar, hava sirkülasyonunu engelleyerek ısının şehir içinde hapsolmesine neden olmaktadır (Landsberg, 1981). Aynı zamanda kentsel alanlarda kullanılan yapı malzemeleri (beton, asfalt vb.), yüksek yapı yoğunluğu, bina yüzey oranlarının ve yol genişliklerinin fazla olması, güneş ışığının daha fazla emilmesine ve daha fazla sürede ısıyı tutmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda, bu alanlarda gece sıcaklıkları daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır (Kim vd., 2017; Oke, 1982). Bu noktada yüksek ısı kapasitesi ve düşük yansıtma özelliği, ısı adası etkisini artırmaktadır. Buna ek olarak mevsimsel ve günlük sıcaklık değişimlerine göre de KIA etkisi farklılık göstermektedir. Bu durum, özellikle yaz aylarında daha belirgin hale gelmektedir. Çünkü güneş ışığının yoğun olduğu yaz aylarında şehirlerdeki ısı birikimi daha fazla olmaktadır (Peng vd., 2019). Bu kapsamda şehir planlamasında yeşil alanların artırılması, yansıtıcı yüzeylerin kullanılması ve enerji verimliliği sağlayan çözümler gibi stratejik önlemler alınması kritik önem taşımaktadır. Bu önlemler ile hem şehirlerin daha yaşanabilir hale gelmesi sağlanabilecek hem de iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir adım atılmış olacaktır.

Bu kapsamda, bu çalışmada, mekânsal ve zamansal değişimlerin KIA etkisinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak, mevcut bilgi birikimini derleyerek araştırmacılara, plancılara ve politika yapıcılara rehberlik

etmek amaçlanmaktadır. Böylece KIA etkisinin nedenlerini, sonuçlarını ve çözüm stratejilerini sistematik bir şekilde ele alarak, konunun farklı yönleri bir araya getirilerek literatürdeki boşlukların belirlenmesi hedeflenmektedir.

METOT

KIA etkileri üzerinde araştırma yapan çalışmaları belirleyebilmek için 2024 yılı içerisinde konu ile ilgili güncel ve yüksek atıf almış çalışmaların yanı sıra Temmuz 2024'e kadar Science Direct, TaylorveFrancis, MDPI ve SpringerLink gibi farklı veri tabanlarında arama yapılarak çalışmalar incelenmiştir. Araştırma veri tabanları üzerinden "KIA, kentsel ısı adası, yüzey kentsel ısı adası, YKIA" etkisi anahtar kelimeleri kullanılarak mekânsal ve zamansal değişimler üzerine yapılan çalışmalar taranmıştır. Tam metinler, atıflar ve özetler değerlendirme için kullanılmıştır. Verilen tabloda kaynak/referans, KIA ile çalışma konusu, amaç ve hedefler, metodoloji ve son olarak çalışmaların bulgularına ve sonuçlarına yer verilmiştir.

BULGULAR

Gerçekleştirilen sistematik literatür incelemesi, dünya genelindeki farklı şehirlerde KIA etkisinin mekânsal ve zamansal değişimlerini kapsamlı bir şekilde analiz etmektedir (Tablo 1). İncelenen çalışmalar, KIA yoğunluğunu etkileyen ana faktörleri detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Araştırmalarda kullanılan RS teknikleri, saha ölçümleri ve modelleme yaklaşımları gibi çeşitli metodolojiler, KIA etkilerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Literatür, entegre kentsel planlama ve yeşil altyapının, KIA etkilerini hafifletmede kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca, yapılan çalışmalarda karşılaştırmalı çalışmaların kolaylaştırılması ve politika oluşturma süreçlerine destek olmak için standartlaştırılmış KIA ölçüm protokollerinin önemi vurgulanmaktadır. Genel olarak, KIA etkileri üzerine yapılan araştırmaların bulguları, şehirlerin iklim değişikliği ile başa çıkma kapasitesini artırmak için daha fazla yeşil alanın ve sürdürülebilir kentsel tasarım stratejilerinin benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Mekânsal ve zamansal değişimlerin KIA üzerindeki etkileri konusunda yapılan literatür özeti.

Table 1. Summary of literature on the effects of spatial and temporal changes on UHI.

Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
(Deng vd., 2024) Çalışma, YKIA ile çeşitli itici faktörler arasındaki nedensel ilişkileri belirlemeyi ve bu faktörlerin farklı ölçeklerde YKIA modelleri üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, • MODIS görüntüleri, yeniden analiz verileri, asimilasyon verileri ve yardımcı veriler dahil olmak üzere çeşitli veri türleri kullanılmıştır. • KIA yoğunluğundaki değişiklikleri açıklamak için YKIA'deki mekânsal ve zamansal farklılıklar, kırsal kapsam tanımları ve zaman serisi eğilim analizi kullanılmıştır. • YKIA'nin 2010-2022 yılları arasındaki zamansal eğilimlerini analiz etmek için Theil-Sen tahmincisi (Sen eğimi) ve Mann-Kendall (MK) parametrik olmayan testi kullanılmıştır.	Çalışmanın bulguları incelendiğinde çeşitli kentsel değişkenler ile YKIA etkisi arasında anlamlı nedensel ilişkiler bulunmuştur. • Gece Işığ (NL), nüfus yoğunluğu ve Aerosol Optik Derinliği (AOD) gibi faktörler, YKIA yoğunluğunun temel etkenleri olarak tanımlanmıştır. • Gelişmiş Bitki Örtüsü İndeksi (EVI) ile YKIA arasındaki çift yönlü nedensel ilişki tespit edilmiştir. • Araştırma, büyük şehirlerde KIA etkisinin daha belirgin olduğunu ortaya koymuştur. Şehirleşme sürecinin yüzey yansıtıcılığı azaltarak ısı birikimini artırdığı vurgulanmıştır. • Çalışma sonuçları, dünya çapında 717 şehirde YKIA yoğunluğunun önemli mekânsal ve mevsimsel farklılıklar gösterdiğini, ekvator bölgelerinin YKIA yoğunluğunu artırma konusunda en yüksek riskle karşı karşıya olduğunu ortaya koymuştur.
(Cetin vd., 2024) Bu çalışmada, Türkiye'nin Kayseri ilinde LST ve KIA etkilerinin belirlenmesi ve zaman içindeki değişimlerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma, Kayseri'nin merkezi ilçeleri olan Kocasinan, Melikgazi, Talas ve Hacilar'daki vegetasyon ve yapılaşma alanlarındaki değişiklikleri inceleyerek, kentsel planlama ve sürdürülebilir arazi kullanımına yönelik stratejiler geliştirmeyi hedeflemektedir.	Bu çalışma kapsamında, • Landsat 8 ve Landsat 9 uydusu görüntüleri kullanılarak LST ve KIA etkileri hesaplanmıştır. • Çalışma, üç aşamalı bir yöntem izlemektedir: • İlk olarak termal bantlar kullanılarak yüzey sıcaklıkları belirlenmiş ve KIA haritaları oluşturulmuştur; • İkinci olarak, vegetasyon yoğunluğunu belirlemek için Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ve yapılaşma yoğunluğunu belirlemek için Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) analizleri yapılmıştır; • Son olarak, KIA, NDVI ve NDBI sonuçları arasındaki ilişkiler incelenmiştir.	Çalışmanın bulguları, 2013 ve 2022 yılları arasında Kayseri'deki LST ve KIA etkilerinin önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. • NDVI artarken, NDBI azalmıştır. • Bulgular, NDVI ile KIA arasında güçlü bir negatif korelasyon ve NDBI ile KIA arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır. • Bu, vegetasyon alanlarının arttıkça KIA etkisinin azaldığını, yapılaşma alanlarının arttıkça KIA etkisinin arttığını göstermektedir. • Kayseri'deki mevcut yeşil alanların korunması ve yeni yeşil alanların planlanması, kentsel ısı adası etkisini azaltmada önemli bir strateji olarak vurgulanmıştır.
(Xi vd., 2024) Bu çalışmanın amacı, Hefei şehrinin, merkezi kentsel bölgesindeki Local Climate Zone (LCZ) ve YKIA'lerin mekânsal ve zamansal dağılımını incelemektir.	Bu çalışma kapsamında, • Landsat görüntüleri, arazi kullanım örtüsü, DEM, bina konturları, bina yükseklikleri, yollar, ilgi noktaları, nüfus verileri ve gece ışık yoğunluğu verileri toplanmıştır. • LCZ haritalaması için LCZ Generator aracı kullanılmıştır. • Arazi yüzey sıcaklıklarını hesaplamak için tek pencere algoritması kullanılmış ve Pearson korelasyonu katsayısı ve coğrafi detektör modelleri kullanılarak YKIA üzerindeki etki mekanizmaları analiz edilmiştir.	Çalışmanın bulguları, Hefei Şehrindeki Yerel LCZ mekânsal dağılımında önemli bir heterojenlik olduğunu, farklı LCZ'lerin KIA etkisinin yoğunluğunu ve dağılımını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. • Mevsimsel analizler, yaz aylarında YKIA etkisinin arttığını, kış aylarında ise bu etkinin azaldığını ortaya koymuştur. • YKIA'deki mekânsal değişimlerin arkasındaki birincil itici güçler olarak NDBI, NDVI ve yerçekimi su indeksi (GWI) tespit edilmiştir.
(Tang vd., 2024) Bu çalışma, UF ve KIA'nin ortak risk değerlendirmesi için mekânsal ve zamansal bir çerçeve önermeyi amaçlamaktadır. Araştırma hedefleri şunlardır: (1) mekânsal-zamansal kentsel sel UF ve KIA veritabanlarını oluşturmak, (2) UF-KIA ortak riskinin mekânsal-zamansal eğilimini açıklığa kavuşturmak ve (3) ortak itici faktörleri belirlemek ve katkılarını ölçmek.	Çalışma kapsamında, • UF ve KIA'nin ortak riski hesaplanmış, mekânsal ve zamansal korelasyonlar ortaya konulmuş ve ortak itici faktörler belirlenmiştir. • UF duyarlılığı haritalaması için Rastgele Orman (RF) algoritması ve ısı yoğunluğu değerlendirmesi için Mekânsal Durbin Modeli kullanılmıştır.	Çalışmanın bulguları, UF ve ısı adaları arasındaki mekânsal ve zamansal korelasyonları ortaya çıkararak ortak itici faktörleri tanımlanmıştır. • Bulgular, bu iki fenomenin birbirleriyle etkileşimli olarak şehirlerde önemli riskler oluşturduğunu göstermektedir. • Analizler, yoğun yapılaşmış alanlarda hem sel riskinin hem de KIA etkisinin arttığını ortaya koymuştur. • Çalışma, ortak risk değerlendirmesi için bir çerçeve önererek, etkili azaltma stratejileri için UF ve ısı adalarını birlikte ele alınmasının önemini vurgulamıştır.
(Yang vd., 2024) Çalışmanın amacı, Çin'de farklı gelişme seviyelerini temsil eden iki şehrin (Pekin ve Zhengzhou), ısı adası dağılımındaki değişiklikleri 20 yıllık bir süreç için analiz etmektir. Bu nokta özellikle, (1) Kentsel-kırsal değişikliklerle ortaya çıkan ısı adası kalıplarındaki farklılıkları ortaya çıkarmak, (2) Yalnızca ortalama değerlere veya mekan veya zamandaki tekil noktalardan gelen verilere güvenildiğinde Kentsel Isı Adası	Çalışmada kapsamında, • Zhengzhou ve Pekin'i kentsel, kent çevresi ve kırsal alanlara ayırmak için Şehir Kümeleme Algoritması ve Sınır Oluşturma Algoritması kullanılmıştır. • 2000'den 2023'e kadar MODIS verileri ve arazi örtüsü sınıflandırması için Globe Land Collection 30 (GLC30) kullanılmıştır. • Ayrıca, farklı gelişim aşamalarındaki KIA modellerini analiz etmek için istatistiksel yöntemler ve Fourier-uyumlu eğriler kullanılmıştır.	Çalışma bulguları, Pekin'de ısı dağılımının zamanla daha heterojen hale geldiğini, Zhengzhou'da ise ısı dağılımında dalgalanmalar yaşandığını göstermiştir. • Ayrıca mevsimsel ölçekte, Pekin'deki KIA mevsimlere göre nispeten tekdüze dağılırken, Zhengzhou mevsimlere göre büyük değişimler göstermiştir. • Pekin'deki kentsel ısı adası etkisinin kentsel genişleme döneminde arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ancak bu durum, ısı adası yoğunluğunun azalan ve sonra artan üç aşamalı bir eğilim gösterdiği Zhengzhou'da gözlenmemiştir. • KIA'nin ekolojik desene verdiği tepkinin iki şehir için farklı olduğu tespit edilmiştir.

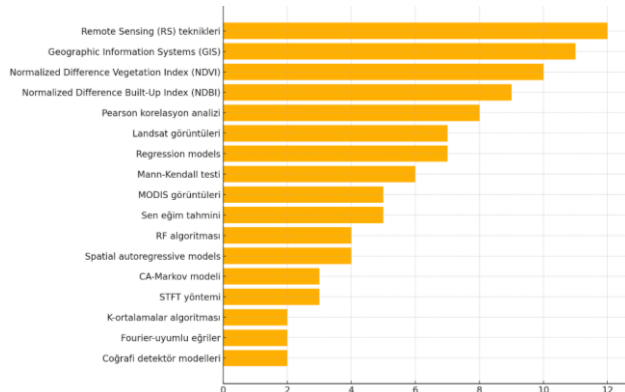
Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
Yoğunluğunun (KIAI) temsilindeki zayıflıkları ele almak için yöntemler önermek, (3) Geleneksel kentsel ısı adası etkisi hesaplamalarında göz ardı edilen, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki tampon bölgelerin yeterince dikkate alınmaması sorununa yönelik geliştirilmiş bir çözüm önermek hedeflenmektedir.	Çalışmada ayrıca, iki şehirdeki kentsel genişleme oranlarının, Yüzey Kentsel Isı Adası Yoğunluğu (YKIAI) üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.	
(Fajary vd., 2024) Bu çalışma, Jakarta metropoliten alanı ile Bandung, Cimahi ve Sukabumi Belediyelerine odaklanarak, Java Adası'nın batı kesimindeki kentsel büyümeyi ve bunun YKIAI'ler ve kentsel termal koşullar üzerindeki etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, Endonezya'da sürdürülebilir kentsel planlama ve kalkınma için içgörüler sağlamak üzere, YKIAI değişimi katkıda bulunan faktörleri ölçmek hedeflenmektedir.	Bu çalışma kapsamında, - YKIAI ve kentsel termal koşulları ölçmek için Uzaktan Algılama (RS) teknikleri kullanılmıştır. - YKIAI değişikliklerini etkileyen farklı faktörlerin göreceli katkılarını incelemek için, bağımsız değişkenler olarak kentsel oran, su oranı, bitki örtüsü oranı ve antropojenik ısı akısına odaklanarak regresyon analizi yapılmıştır. - Arazi kullanımı ve arazi örtüsünü (LULC) ve kentsel büyümeyi analiz etmek için 2000, 2009 ve 2019 Landsat görüntüleri kullanılmıştır.	Çalışmanın bulguları, Jakarta, Bandung ve Sukabumi'deki kentsel alanların son yirmi yılda önemli bir büyüme yaşadığını ve bunun da YKIAI'nın artmasına neden olduğunu ortaya koymuştur. - Analiz kentsel oran (UR), su oranı (WR), bitki örtüsü oranı (VR) ve antropojenik ısı akısı (AH) gibi faktörlerin YKIAI'deki değişikliklere katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. - Çalışmanın sonucunda Endonezya'nın Java Adası'nın batı kesimindeki kentleşmenin LULC'de önemli değişikliklere yol açarak KIA'ye katkıda bulunduğunu ve kentsel termal koşulları etkilediğini ortaya koymuştur. - Araştırma, kentleşmenin yarattığı zorlukları ele ve yeşil altyapı ve kentsel tasarım müdahaleleri gibi stratejiler yoluyla KIA'lerin etkilerini azaltmak için sürdürülebilir kentsel planlama uygulamalarına duyulan ihtiyacı vurgulamıştır.
(Zhao vd., 2024) Bu çalışma, Harbin kentindeki KIA ağırlarını oluşturmayı ve analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca KIA ağırlarının yapısal özelliklerini anlamayı ve sürdürülebilir kentsel gelişim için ciddi KIA etkileri olan alanlarda soğutma önlemlerine öncelik vermeyi hedeflemektedir.	Bu çalışma kapsamında, - KIA kaynaklarını belirlemek ve bunların önemini değerlendirmek için morfolojik mekânsal örüntü analizi kullanılmıştır. - Çalışma alanındaki KIA kaynakları arasındaki termal bağlantı koridorlarını ve anahtar düğümleri belirlemek için devre teorisi ilkeleri uygulanmıştır.	Çalışma bulgularında, Harbin şehrinde 36 KIA kaynak alanı, 71 ısı bağlantılı koridor ve 35 kilit düğüm tespit edilmiştir. - KIA direnç değerlerinin mekânsal dağılımında belirgin bir kuzey-güney modeli ortaya çıkmış, kuzeyde daha yüksek değerler ve güneyde daha düşük değerler görülmüştür. - Kilit düğümlerin çoğu çalışma alanının kuzey kesiminde yer almakta olup, önemli KIA etkisine sahip alanlara işaret etmekte ve kentsel iklim uyum stratejileri için içgörüler sağlamaktadır.
(Rajeswari vd., 2024) (Rajeswari vd., 2024) Bu çalışmanın amacı, Orta Avrupa şehirlerindeki KIA sonuçlarını analiz etmek, azaltma ve uyum stratejileri geliştirmek ve azaltma stratejilerinin etkinliğini tahmin etmek için kentsel özellikler ile mikro iklim parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmaktır. Çalışmanın hedefi, bölgedeki iklim değişikliği ve hızlı kentleşmenin olumsuz etkilerini azaltmak için Katar Ulusal Vizyonu 2030'un bir parçası olarak kentsel planlama ve arazi yönetimi karar verme süreçlerini bilgilendirmektir.	Bu çalışma kapsamında, 2001 ve 2018 yıllarına ait iki farklı LULC veri setinin yanı sıra farklı karmaşıklıkla sahip üç farklı kentsel gölgelik modeli ile simülasyonlar kullanılmıştır. - Bölgedeki önceki araştırmalara dayanarak çeşitli fizik seçenekleri seçilmiştir. - Simülasyon sonuçlarının doğrulanması için kentsel bölge içindeki ve dışındaki istasyonlardan alınan yüzey meteorolojik gözlemleri kullanılmıştır.	Çalışma, Doha'daki kentsel ve kentsel olmayan alanlar arasındaki sıcaklık dağılımında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymakta, özellikle kentsel bölgelerdeki daha yüksek gece sıcaklıklarını vurgulamaktadır. - Simülasyonlar, artan ısı Endeksi değerlerini göstererek KIA etkisinin ciddiyetini ve insan sağlığı için oluşturduğu riskleri vurgulamaktadır. - Genel olarak bu çalışma, Doha'daki KIA olgusuna ilişkin değerli bilgiler sunmakta ve kurak bölgelerde hızlı kentleşme ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak ve kentsel planlama konusunda bilgi sağlamak amacıyla gelecekte yapılacak araştırmalara zemin hazırlamaktadır.
(Kasniza Jumari vd., 2023) Bu çalışmanın amacı, Orta Avrupa şehirlerindeki KIA sonuçlarını analiz etmek, azaltma ve uyum stratejileri geliştirmek ve azaltma stratejilerinin etkinliğini tahmin etmek için kentsel özellikler ile mikro iklim parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmaktır.	Bu çalışma kapsamında, - KIA etkisine odaklanarak Kuala Lumpur'daki kentsel iklim özelliklerini analiz etmek için CBS analitik teknikleri, QGIS ve ArcGIS ile modelleme ve sayısal modeller kullanılmıştır. - Ayrıca, mezo düzeyde KIA'yi tanımlayan özellikleri belirlemek ve ısı adası etkisinin azaltılmasına yönelik KIA değerlendirme matrisini oluşturmak için karar ağaçları, RF ve regresyon teknikleri kullanılmıştır.	Çalışma, kentsel mikro iklim modellemesinin yüksek karmaşıklığının model güvenilirliğini azalttığını ve sofistike simülasyon sistemlerinin bile yetersiz girdi verileriyle hatalı sonuçlar üretebileceğini ortaya koymuştur. - Kentsel özellikler ve mikroklimatik parametreler arasında önemli ilişkiler tespit edilmiş ve KIA için azaltıcı stratejilerin etkinliğine dair ön tahminler sağlanmıştır. - Araştırma ayrıca Kuala Lumpur'daki kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farklılıklarını vurgulayarak iklim değişikliğiyle mücadele için KIA etkilerinin ele alınmasının önemini ortaya koymuştur.
(Liu vd., 2024) Bu çalışmanın üç amacı bulunmaktadır. Birincisi, 2000-2020 yılları arasında Şanghay'daki KIA aralıklarının mekânsal-zamansal modellerini ve evrim eğilimlerini araştırmak, İkincisi, nüfusun ısıya maruz kalma risk modellerinin evrim özelliklerini ince bir ölçekte ölçmek için bir nüfus ısıya maruz kalma göreceli risk değerlendirme yöntemi geliştirmek, Üçüncüsü, kentsel mekânsal çevre yönetimi stratejileri için bilimsel destek ve karar verme rehberliği sağlamaktır.	Bu çalışma kapsamında, - Eşikleri hesaplamak ve KIA aralıklarını belirlemek için Sıcaklık Zayıflama Mutasyonu yöntemi kullanılmıştır. - Ek olarak, Kırılma Noktası Regresyon Modeli tanımlanmıştır. - Araştırmada ayrıca, KIA aralıklarındaki ve nüfusun ısıya maruz kalma riski modellerindeki uzamsal-zamansal değişiklikleri analiz etmek için uzamsal istatistikler ve otokorelasyon endeksleri kullanılmıştır.	Çalışma bulgularına göre, KIA ve YKIAI Şanghay'da 2000'den 2020'ye kadar artış göstermiştir. - Araştırma bulguları, Şanghay'ın merkez bölgelerinde KIA etkisinin en yoğun olduğunu, özellikle yaz aylarında bu etkinin daha da belirginleştiğini göstermektedir. - Şanghay'da KIA etkisi altındaki bölgelerde sıcaklıklar çevre kırsal alanlara göre ortalama 1,5-2,5°C daha yüksektir. - Yıllık ortalama sıcaklık artışının %70'inin kentsel genişleme ve yapılaşma nedeniyle olduğu tespit edilmiştir. - Ayrıca, yaşlılar ve düşük gelirli gruplar gibi hassas nüfus gruplarının KIA etkilerine karşı daha savunmasız olduğu belirlenmiştir.
(Mo vd., 2024) Bu çalışma, farklı kentsel bölgelerin arazi yüzey sıcaklığı (LST) üzerindeki etkilerini araştırmayı, farklı kentsel işlevsel bölgelerdeki kentsel bina morfolojisi ve yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkileri ve farklı analiz etmeyi ve Guiyang, Çin'deki binaların mekânsal formlarını optimize etmek için stratejiler önermeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Farklı kentsel işlevsel bölgelerdeki LST değişimlerini analiz etmek için Tek Yönlü Varyans Analizi kullanılmış, kentsel bina morfolojisi ölçümleri ile LST arasındaki ilişkiyi tespit etmek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. - Bu ölçümlerin farklı kentsel işlevsel bölgelerdeki LST üzerindeki ilişkisini ve göreceli etkisini değerlendirmek için Güçlendirilmiş Regresyon Ağacı modeli kullanılmıştır.	Çalışma, - Arazi kullanımı türlerine göre Guiyang'daki kentsel işlevsel bölgeleri tanımlamış, kentsel termal çevre yoğunluğunun mekânsal dağılımını analiz etmiş ve bina yoğunluğunun LST üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. - Çalışma ayrıca, farklı kentsel işlevsel bölgelerdeki kentsel bina morfolojisi ölçümleri ile LST arasındaki korelasyonları ortaya koymuş ve kentsel alanlardaki ısı etkilerini azaltmak için bina mekânsal formlarının optimize edilmesine yönelik içgörüler sağlamıştır.
(Zhang vd., 2024) Bu çalışma, Yangling'deki LCZ'lerin haritalandırılması ve kentsel kanopi parametreleri (UCP'ler) ile KIAY arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Landsat 8 verileri kullanılarak LST için Radyasyon Transfer Denklemi yöntemi kullanılmıştır. - CBS teknikleri, bina yüksekliği, taban alanı oranı ve gökyüzü görüş faktörü gibi UCP'lere dayalı olarak LCZ'leri haritalamak için kullanılmıştır. - Farklı LCZ tiplerinde UCP'ler ve KIAY arasındaki korelasyonları araştırmak için IBM SPSS yazılımı kullanılarak kutu grafikleri ve aşamalı çoklu doğrusal regresyon dahil olmak üzere istatistiksel analizler yapılmıştır.	Çalışma, küçük Yangling kentindeki yapılaşmış Yerel İklim Bölgesi tiplerinin, doğal LCZ tiplerine kıyasla daha yüksek KIAT'ye sahip olduğunu ortaya koymuştur. - Yapılaşmış LCZ'ler arasında, kompakt LCZ'ler açık LCZ'lere göre daha yüksek KIAY ve LST sergilemiştir. - Bina yüksekliği, taban alanı oranı ve gökyüzü görüş faktörü gibi faktörler KIAY ile pozitif korelasyon gösterirken, NDVI ve su oranı gibi faktörler negatif korelasyon göstermiştir. Sonuçlar, KIA etkisini azaltmak ve kentsel termal ortamları iyileştirmek için kentsel planlamada kentsel form parametrelerinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.
(Liu vd., 2024) Çalışma, Çin'in Chengdu ve Chongqing şehirlerindeki LULC modellerinin ve KIA etkilerinin analizine odaklanmaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - LULC yorumlama ve sınıflandırma için RF algoritması kullanılmıştır. - Çalışmada ayrıca, itici faktörler ile LST arasındaki ilişkiyi analiz etmek için Sıradan En Küçük Kareler ve makine öğrenimi modelleri kurulmuş ve model doğruluk karşılaştırmalarına dayalı olarak 2030 yılına kadar LST ve KIA simülasyonu yapılmıştır.	Çalışma, Chengdu'nun kentsel gelişiminin merkezini oluşturan yoğun ve sürekli yapılaşmış alanında yüksek KIA yoğunluğunu koruduğunu, Chongqing'in ise çevresel kümelerde çok yüksek KIA yoğunluğu sergilediğini ortaya koymuştur. Her iki şehir de KIA yoğunluğu zaman içinde artmıştır. RF modeli, KIA'yi etkileyen temel faktörleri belirlemiş ve özellikle yapılaşmış alanların oranı olmak üzere Arazinin Kullanım ve Kaplama Değişimi (AKAKDO) bileşim faktörlerinin KIA etkilerine hakim olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, LULC yapılandırma faktörleri de özellikle Chengdu'da düz arazilerde KIA'yi önemli ölçüde etkilemiştir. Çalışma, açık alanların azalabileceğini ve bunun da gelecekte daha belirgin KIA etkilerine yol açabileceğini öne sürmektedir. Çalışmada, New York şehrinde önemli KIA etkileri tespit edilmiş ve yüzey sıcaklıklarının 20 yıllık dönem boyunca, özellikle temmuz ayında artış eğilimi gösterdiği ortaya koymuştur. Analiz, kentleşmenin insanların termal konfor seviyeleri üzerindeki etkisini ortaya koymuş ve KIA etkisini azaltmak ve çevresel konforu artırmak için yeşil alanlara ve bina tasarımı iyileştirmelerine duyulan ihtiyacı vurgulamıştır.
(Yin vd., 2023) Çalışma, CBS ve RS teknolojilerini kullanarak New York ve New Jersey'deki KIA analiz etmeyi ve zaman içindeki değişim modellerine ve mekânsal dağılım özelliklerine odaklanmayı amaçlamaktadır. Ayrıca,	Bu çalışma kapsamında, - Veri çıkarma, görüntü işleme ve meteoroloji istasyonu verilerinin doğruluğunu artırmak gibi veri ön işleme teknikleri yöntem olarak kullanılmıştır. 2001-2020 yılları arasındaki iklim, meteoroloji, DEM ve arazi kullanımı verilerini kullanarak insanların fiziksel konfor	

Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
kentleşmenin termal konfor üzerindeki etkisini keşfetmeyi ve bina tasarımı değişiklikleri yoluyla çevresel konforu iyileştirmek için yöntemler önermeyi hedeflemektedir. (Wenqian vd., 2023) Bu çalışma, kentsel ve kırsal istasyonlar arasındaki sıcaklık farklarını karşılaştırarak Xiamen'deki KIAY'ı analiz etmeyi, kentleşmenin sıcaklık verileri üzerindeki etkisini değerlendirmeyi ve yüksek KIA etkilerini azaltmak ve kentsel yüksek sıcaklıklar ve ısı dalgaları gibi meteorolojik felaketleri izlemek için kentsel gelişim planlaması için içgörüler sağlamayı amaçlamaktadır. (Xu vd., 2024) Bu çalışma, Çin'in Xi'an kentinde kentsel mekânsal faktörlerin YKİAY üzerindeki etkisini araştırmaya odaklanmıştır. Bu çalışmada, KIA etkisine katkıda bulunan temel faktörlerin belirlenmesi, çeşitli faktörlerin YKİA'nin mekânsal modelleri üzerindeki etkisinin analiz edilmesi amaçlanmıştır.	seviyelerini ve KIA olaylarını analiz etmek için CBS ve RS teknolojileri kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, - Otomatik gözlemler için RHtestsV4 yazılımı ve kırsal ve kentsel istasyonları seçmek için Landsat 8 RS görüntülerine dayalı 2020 LULC veri seti kullanılmıştır. - Saatlik sıcaklık verilerine kalite kontrol yöntemleri uygulanmış, kentsel ve kırsal istasyonların belirlenmesinde ise şehirleşme seviyelerini yansıtan LULC verileri esas alınmıştır. Bu çalışma kapsamında, - Kentsel mekânsal unsur göstergelerinin YKİAY üzerindeki etkisini ölçmek için çoklu doğrusal regresyon, RF modelleri ve çok ölçekli coğrafi ağırlıklı regresyon modelleri kullanılmıştır. - Veri ön işleme, Pearson korelasyon katsayılarına dayalı olarak gereksiz değişkenlerin elenmesini içermiş ve mekânsal otokorelasyon Moran's I indeksi kullanılarak test edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, 2001-2020 yılları arasında üç şehirde (Pekin, Shijiazhuang ve Cangzhou) YKİA FP değerlendirmek için lojistik bir model kullanılmıştır. - Farklı büyüklükteki şehirlerin YKİA FP'sinin mekânsal-zamansal gelişimini anlamak için MODIS ve kentleşme faktörleri veri setlerinden elde edilen verilerden yararlanılmıştır.	Çalışma, Xiamen'de önemli KIAY seviyeleri olduğunu ortaya koymuştur. Güney kentsel alanlarda ise daha yüksek KIAY seviyeleri tespit edilmiştir. Gündüz KIAY'nin gece KIAY'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Anakara kentsel alanlarındaki günlük değişimin, Xiamen Adası'ndakinden daha büyük olduğu vurgulanmıştır. Kıyı bölgeleri ile deniz melteminin etkisiyle günlük varyasyonlar gözlemlenmiştir. Uzun vadeli hava sıcaklığı verilerinde, kentsel alanların etkisiyle önemli bir sistematik yıllık tespit edilmiştir. Çalışma, Çin'in Xi'an kentindeki KIA etkisine katkıda bulunan temel faktörleri belirlemiş ve çeşitli modeller kullanılarak bunların mekânsal modellerini ve heterojenliğini analiz etmiştir. - Araştırma, YKİAY'ı etkilemede kentsel mekânsal faktörlerin önemini vurgulamış ve KIA'nin hassas kontrolü yoluyla kentsel termal ortamın iyileştirilmesi için içgörüler sağlamıştır. - Bulgular, kentsel morfolojinin kentsel termal çevre üzerindeki etki mekanizmalarının hem şehir genelinde hem de blok düzeyinde daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Çalışma bulguları ile YKİA FP alanının şehir büyüklüğü ile arttığı ve şehir büyüklüğü ile YKİA etkisinin kapsamı arasında pozitif bir korelasyon olduğu saptanmıştır. - Farklı büyüklükteki şehirlerin YKİA FP'lerinde, öncelikle inşaat alanı ve nüfustaki değişikliklerden etkilenen önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. - Araştırmada, KIA etkisini daha iyi anlamak ve azaltmak için YKİA FP ile ilgili gelecekteki çalışmalarda kentsel morfolojinin kritik bir faktör olarak dikkate alınmasının önemini vurgulanmıştır.
(Yuan vd., 2023) Çalışma, farklı su kütlelerinin KIA üzerindeki etkisini ve mevsimsel farklılıklarını keşfetmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda çalışmada Arazi Kullanımı Katkı Endeksi (LCI) kullanılarak arazi türleri ve KIA arasındaki ilişkiler ölçülmekte ve arazi örtüsü değişikliklerinin KIA yoğunluğu üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Arazi tiplerini sınıflandırmak ve LST verilerini elde etmek için RS teknolojisi ve RF algoritması yöntemleri kullanılmıştır. - Landsat termal kızılötesi verilerinden yüzey sıcaklıklarını ters çevirmek için Mono-Window algoritması kullanılmıştır. - Ayrıca, RS haritalarını işlemek, ısı adası yoğunluğunu derecelendirmek ve arazi transfer haritalarını üst üste bindirerek ısı adası yoğunluğu değişim haritaları oluşturmak için ArcGIS kullanılmıştır.	Çalışma, KIA etkisinde mevsimsel farklılıklar olduğunu ve farklı arazi türlerinin bu olguya katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur. - LCI kullanılarak yapılan analiz, arazi örtüsü değişikliklerinin KIA'ya nasıl etkilendiğine dair içgörü sağlamıştır. - Araştırma, ısı adalarının yoğunluğunu azaltmak için kentsel planlamada su kütlelerinin ve arazi dönüşümlerinin dikkate alınmasının önemi vurgulanmıştır.
(Liu vd., 2024) (Liu vd., 2024) Çalışma, farklı zaman dilimlerinde ve farklı UGS eğimleri altında yüzey sıcaklığının mekânsal dağılım modelini karşılaştırmayı, yoğun ve sürekli yapılaşmış alanda açıklayıcı değişkenlerin korelasyonunu keşfetmeyi ve UGS planlama stratejileri sağlamak için etkili göstergelerin katkı oranını belirlemeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Kentsel yoğun ve sürekli yapılaşmış alanları belirlemek için İlgili Noktası (POI) ve çekirdek yoğunluğu yöntemi kullanılmış, ortalama LST değerleri ve peyzaj göstergeleri grid bazında analiz edilmiştir. - Boosted Regression Tree modellemesi, UGS göstergelerinin göreceli katkılarını ve marjinal etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. - Çalışmada ayrıca UGS ölçümleri ile kentsel alandaki mevsimsel LST arasındaki ilişkiyi araştırmak için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır.	Çalışma, yoğun ve sürekli yapılaşmış alanda UGS ölçümleri ile mevsimsel LST arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur. - Farklı peyzaj faktörleri, farklı UGS eğimlerinde LST üzerinde farklı etkilere sahip olduğu, Aggregation index (AI) ve Number of patches (NP) gibi faktörlerin sıcak mevsimlerde LST'nin önemli yorumlayıcıları olduğu vurgulanmıştır. - Çalışma, UGS'nin LST'yi azaltmadaki önemini vurgulamış ve kentsel termal ortamı hafifletmek için UGS'nin mekânsal konfigürasyonunun optimize edilmesini önermiştir.
(Wu vd., 2024) Bu çalışma, 2000-2020 yılları arasında Çin'deki kentsel ve kentsel olmayan alanlarda bitki örtüsü kapsamındaki değişikliklerin yüzey sıcaklıkları ve KIA etkisi üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca ağaçlandırma girişimleriyle artan bitki örtüsü kapsamının KIA eğilimlerini mekânsal-zamansal bir perspektiften nasıl etkileyebileceğini anlamayı hedeflemektedir.	Bu çalışma kapsamında, - Kentsel-kırsal eğimler boyunca sıcaklık değişim verimliliğinin mekânsal modellerini analiz etmek için 500 karar ağacı içeren RF modelleri kullanılmıştır. - Belirleme katsayısı model performansını değerlendirmek için kullanılırken, ortalama karesel hatada artış her bir itici faktörün önemini ölçmek için kullanılmıştır.	- Çalışma, şehirlerde artan bitki örtüsünün ortalama 0,58 °C'lik bir soğutma faydasına yol açtığını bulmuştur. - Bu soğutma etkisi kuzey şehirlerinde, özellikle de sıcaklıktaki düşüşlerin 0,9 °C'yi aştığı Loess Plateau'nda daha belirgindir. - Araştırmada ayrıca, kentsel ve kırsal alanlarda bitki örtüsündeki değişikliklerin hem soğutma hem de ısıtma etkilerine atfedilen KIA etkilerinde, ülke çapında ortalama bir artış tespit edilmiştir.
(Liu vd., 2023) Çalışma, Çin şehirlerindeki YKİAI eğilimlerini araştırmayı, banliyö yeşillendirmesinin YKİAI üzerindeki etkisini değerlendirmeyi ve banliyöleşmenin YKİAI'yi nasıl değiştirdiğini incelemeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - YKİAI hesaplaması için SNPP-VIIRS verilerine dayalı banliyö alanlarını çıkarmak üzere K-ortalama algoritması kullanılmıştır. - Banliyö yeşillendirmesi ve banliyöleşmenin YKİAI üzerindeki etkilerini farklı zaman ölçeklerinde analiz etmek için Spearman sıra korelasyon katsayıları kullanılmıştır. - Ayrıca, çalışma önemli boyunda iklim ve çevresel değişkenlerde eğilim tespiti için Mann-Kendall testi ve Sen'in eğimi uygulanmıştır.	- Çalışma, analiz edilen 201 şehirde yıllık dönem boyunca banliyö yeşillendirmesi nedeniyle gündüz YKİAI'sinde önemli bir artış olduğunu ortaya koymuştur. - Ayrıca banliyöleşme düzeyinin, yıl boyunca özellikle gündüz ve gece saatlerinde YKİAI'deki düşüşü etkilediği vurgulanmıştır. Araştırma, YKİAI eğilimlerini etkili bir şekilde anlamak ve ele almak için banliyö bölgelerindeki doğal ve sosyoekonomik faktörleri dikkate almanın önemini vurgulanmıştır.
(Siswanto vd., 2023) Bu çalışma, Jakarta Metropolitan bölgesindeki KIA olgusuna odaklanmakta, özellikle RS uydru verilerine ve yüzey meteorolojik gözlemlerine dayalı olarak KIA'nin mekânsal-zamansal gelişimini incelemektedir.	Bu çalışma kapsamında, - Çalışma alanındaki arazi kullanımı ve arazi örtüsünü belirlemek için Landsat 8 OLI/TIRS verileri kullanılmıştır. - Sınıflandırma referansı için örnekleme ve eğitim verileri kullanılmıştır. - Analiz için dört arazi kullanım sınıflandırması tanımlanmıştır.	Çalışma, mevsimsel özellikleri belirleyerek mekânsal-zamansal KIA profiline odaklanmıştır. - Büyük Cakarta'daki KIA'nin özelliklerini analiz ederek, şehir alanı içindeki LST ve hava sıcaklığındaki farklılıklar vurgulanmıştır. - Araştırma ayrıca kentsel genişlemenin KIA üzerindeki etkisini araştırmış ve Cakarta bölgesinde gözle görülür bir KIA sinyali olduğunu göstermiştir.
(Badugu vd., 2023) Bu çalışma, 20 yıllık bir dönem boyunca LST mekânsal ve zamansal değişimlerini inceleyerek Tiruchirappalli kentindeki KIA etkilerini analiz etmeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Çalışma alanını tanımlamak ve MOD11A2 ürününü kullanarak LST verilerini çıkarmak için Aqua ve Terra kombine MODIS Arazi Örtüsü Tipi ürünü kullanılmıştır. - Verileri standartlaştırmak için MOD11A2 ön işleme tabii tutulmuştur. - KIA etkilerinin analizi, farklı yönlerdeki sıcaklık gradyanlarını değerlendirmek için transekt tekniklerinin yanı sıra KIA yoğunluğu ve KIAindex gibi parametrelerin kullanılması içermiştir. - Ayrıca, çalışma alanı genelinde sıcak noktaların oluşum modellerini ve sıcaklık gradyanlarını analiz etmek için mekânsal otokorelasyon analizi ve çizim transektleri kullanılmıştır.	Çalışma, Tiruchirappalli şehrinde önemli KIA etkilerini ortaya çıkarmış, yüksek yapılaşmış alanlarda yapılaşmamış alanlara kıyasla daha yüksek LST gözlemlenmiştir. - LST değişiminin 20 yıllık bir dönem boyunca analizi, özellikle yaz mevsimlerinde kentsel bölgelerde daha yüksek sıcaklıkların tutarlı bir modelini göstermiştir. - Çalışma alanı içinde sıcak ve soğuk noktalar tespit edilmiş ve bu da KIA etkilerindeki mekânsal farklılıkları göstermiştir. - Çalışma aynı zamanda LST'de yükselen bir eğilimin altını çizerek bölgedeki kentsel planlama ve su kaynakları yönetimi için potansiyel sonuçlar ortaya koymuştur.
(Liou vd., 2024) Bu çalışma, on bir Tayvan şehrinde YKİAI'nin günlük, mevsimsel ve mekânsal örtüntülerini	Bu çalışma kapsamında, Kentsel ve kırsal bölgeler arasındaki LST farkını hesaplamak üzere MODIS LST verileri kullanılmıştır.	Çalışma, gün içindeki mekânsal YKİAI değişkenliklerinin mevsimden bağımsız olarak araştırmada ele alınan değişkenler tarafından açıklanabildiğini ortaya koymuştur.

Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
karakterize etmeyi ve olası etkili faktörlerini belirlemeyi amaçlamaktadır.	- YKIAI yoğunluğunun mekânsal örtüntüleri için ilişkili belirleyicileri incelemek üzere aşamalı çoklu regresyon ve Pearson korelasyon yöntemleri uygulanmıştır. - Çalışmada ayrıca, antropojenik zorlamanın etkisini analiz etmek ve YKIAI'nin hesaplanması üzerindeki yükseklik etkisini ortadan kaldırmak için uzaktan algılanan sabit gece ışıkları verileri ve DEM kullanılmıştır.	- En büyük gündüz toplam açıklama oranı yaz mevsiminde gerçekleşmiş, bunu kış, ilkbahar ve sonbahar izlemiştir. - NDLI ve yapılaşma indeksindeki kentsel-kırsal zıtlık gibi faktörler, YKIAI'nin farklı mevsimlerde ve günün farklı saatlerinde mekânsal değişiminin önemli bir kısmını açıklamıştır.
(de Souza Campos Correa vd., 2024) Bu çalışma, yaklaşık üç yıl boyunca Vitória Metropolitan Bölgesi'ndeki (Vitória MRV), atmosferik ve yüzeyel ısı adalarının zamansal ve mekânsal modellerini araştırmayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, iki ana yöntem kullanılmıştır: - KIA Analizi: Meteoroloji istasyonlarından alınan hava sıcaklığı verileri kullanılarak Oke (1995) tarafından önerilen yönteme dayanmaktadır. - YKIA Analizi: YKIA yoğunluğunu tahmin etmek için Flores, Pereira Filho ve Karam (2016) tarafından RS verileri ve kantil yöntemi kullanılarak önerilen yaklaşım izlenmiştir.	- Çalışma, Vitória MRV'deki YKIA yoğunluğunun yaklaşık +3.6 °C olduğunu ve sıcak noktaların alan boyunca dağıldığını ortaya koymuştur. - Kentsel alanların daha yüksek sıcaklıklara sergilerken, bitki örtüsüne sahip alanların daha düşük sıcaklıklara sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, sürdürülebilir kentsel planlama ve çevre yönetimi stratejileri aracılığıyla MRV'nin hem merkezi hem de çevre bölgelerindeki daha sıcak alanların ele alınmasının önemini vurgulamıştır.
(Modi vd., 2024) Bu çalışma, 2003-2018 yılları arasındaki KIA ve NDVI değerlerini değerlendirerek Hindistan'ın Gujarat eyaletindeki Gandhinagar şehrinde kentsel dinamiklerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, belirli bir dönemde kentsel, iklim değişikliği ve KIA etkisi arasındaki ilişkiyi keşfetmeyi hedeflemektedir.	Bu çalışma kapsamında, - Analiz için MODIS'in 8 günlük ortalama LST ve 16 günlük ortalama NDVI verileri kullanılmıştır. - Veriler NASA'nın Giovanni platformundan indirilmiştir. - Zaman serisi verileri Origin yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve Karl Pearson'ın korelasyon katsayısı R'deki metan paketi kullanılarak hesaplanmıştır. - Çalışmada ayrıca sonuçların mekansal gösterimi ve haritalanması için ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.	- Çalışma, NDVI ile LST arasında güçlü bir negatif korelasyon olduğunu ortaya koymuş, bu da bitki örtüsü bolluğu ile arazi yüzey sıcaklığı arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. - LST ile yağış arasında orta düzeyde negatif bir korelasyon bulunurken, NDVI ile yağış arasında orta düzeyde pozitif bir korelasyon gözlemlenmiştir. - Sonuçlar, kentsellemenin Gandhinagar Şehrindeki KIA etkisi üzerindeki etkisini vurgulamıştır.
(Zhao vd., 2016) Bu çalışma, Şanghay'daki mekansal-zamansal kentsel genişleme sürecini araştırmayı, KIA mekansal-zamansal modelini analiz etmeyi ve kentsel genişleme sürecinin Şanghay'daki KIA etkisi üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Kentsel arazi alanını çıkarmak ve LST elde etmek için Landsat TM/ETM+/TRIS görüntüleri kullanılmıştır. - Arazi kullanım verilerini altı sınıfa ayırmak için bir sınıflandırma sistemi kullanılmış ve doğruluk değerlendirmesi için saha araştırmaları yapılmıştır. - Çalışma ayrıca kentsel genişleme oranlarını, yoğunluklarını ve sıklık oranlarını hesaplamış ve kentsel genişleme sürecini çeşitli yöntemler kullanarak analiz etmiştir.	- Çalışmadan, elde edilen LST verisi, meteoroloji istasyonlarında gözlemlenen sıcaklıklarla karşılaştırarak doğrulanmış ve yüksek bir korelasyon ile tutarlılık göstermiştir. - Şanghay'da 1984'ten itibaren yaşanan kentsel genişlemenin KIA etkisini daha da kötüleştirdiği tespit edilmiştir. - Çalışma ayrıca kentsel genişlemenin KIA etkisi üzerindeki etkisini ortaya koyarak kentsellemenin ve bunun kentsel ısı ortamı üzerindeki etkisini anlamının önemini vurgulamıştır.
(Yuan vd., 2024) Bu çalışma, 2003-2020 yılları arasında Pekin'deki YKIA ve CLHI'nin zamansal özelliklerini analiz etmeyi, bu ısı adalarındaki zaman içindeki değişiklikleri karşılaştırmayı ve kentsel ısı adalarının ve kentsel gelişimin olumsuz etkilerini azaltmak için inşaat stratejileri için rehberlik sağlamayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, 2003-2020 yılları arasındaki MODIS yüzey sıcaklığı görüntüleri, NDVI verileri ve arazi kullanım verileri kullanılmıştır. - KIA yoğunluğunu ve mekânsal aralığını analiz etmek için bir Gauss modeli kurulmuştur. - Araştırma, ısı adası yüzeylerini Gauss yüzeylerine yaklaştırmak için en küçük kareler yöntemini kullanarak kentsel ve banliyö alanlarına odaklanmıştır.	- Çalışma, Pekin'deki YKIA ve CLHI yoğunluğunun mevsimsel değişimler gösterdiğini, soğuk mevsimde gece saatlerinde daha güçlü ve sıcak mevsimde gündüz saatlerinde daha zayıf yoğunluklar olduğunu ortaya koymuştur. - YKIA ve CLHI'nin yıllık ortalama ayak izi elips alanı ve yönü 2003'ten 2020'ye kadar doğuya doğru genişlemiştir. Araştırma, sürdürülebilir şehir planlaması için KIA etkilerinin mekânsal dağılımını ve gelişme eğilimlerini anlamının önemini vurgulamıştır.
(Benaomar ve Outzourhit, 2024) Bu çalışma, Kentsel özelliklerin KIA modelleri üzerindeki etkisini keşfetmeyi, KIA'yi incelemek için kullanılan araştırma yöntemlerini tanımlamayı ve Fas şehirlerindeki KIA araştırmalarının mevcut durumunu incelemeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, KIA ve KIA'nin kentsel ortamlar üzerindeki etkilerini araştırmak için regresyon analizi, coğrafi ağırlıklı regresyon, saha ölçümleri, sensör ağları, RS, modelleme (enerji dengesi modelleri dahil) ve mobil ölçümler gibi araştırma yöntemleri kullanılmıştır.	Çalışma sonuçları, kentsel ve iklim değişikliğinin KIA yoğunluğu ve mekansal dağılımı üzerindeki önemini ortaya çıkarmıştır. - Araştırma bulguları RS, saha ölçümleri ve modelleme teknikleri gibi araştırma yöntemlerinin bir arada kullanılmasının önemini vurgulamakta ve KIA dinamiklerini anlamak için makine öğrenimi algoritmaları ve RS veri analizi gibi gelişmiş analitik yöntemlerin kullanılması önermektedir. - Çalışma ayrıca, Fas'taki KIA araştırmalarını ilerletmek için sürekli veri toplama, uzun vadeli izleme ve stratejik ortaklıklara duyulan ihtiyacı vurgulayarak, KIA modellerine ve kentsel özelliklerin bunların yoğunluğu üzerindeki etkisine ilişkin mevcut literatürdeki boşluklara işaret etmektedir.
(Xu vd., 2024) Çalışmanın temel amacı, Çin'de kentsel mekânsal genişlemenin kaynakları olan KIA etkisine maruz kalan nüfus riskini nicel olarak değerlendirmektir. Ayrıca çalışma, kentsel mekânsal genişlemenin mekânsal-zamansal dinamiklerini analiz etmeyi, KIA'nin büyüklüğünü değerlendirmeyi, farklı kentsel mekânsal genişleme türleri altında nüfusun maruz kalma riskini hesaplamayı amaçlamıştır.	Bu çalışma kapsamında, - Kentsel mekânsal genişleme dinamiklerini nicel olarak analiz etmek ve KIA etkisinin nüfus maruziyeti riskini değerlendirmek için Çin'deki 369 vilayet düzeyindeki idari şehirden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. - Araştırma, KIA büyüklüğünün sistematik olarak değerlendirilmesini, çeşitli kentsel mekânsal genişleme türleri altında nüfusun maruz kalma riskinin hesaplanmasını, nüfusun maruz kalma riskinin mekânsal-zamansal sürecini ve KIA etkilerine katkısını analiz etmek için nüfus ağırlıklı KIAI endeksinin önerilmesini içermektedir.	Çalışma, Çin'deki KIA alanının 2005'ten 2020'ye kadar önemli ölçüde genişlediğini ortaya koymuştur. - KIA alanındaki artış, nüfus maruziyet risk endeksinde bir düşüşe yol açmıştır. - Farklı kentsel mekânsal genişleme türleri, nüfusun KIA'ye maruz kalma riski üzerinde farklı etkilere sahip olup, en yüksek etkiyi sıçramalı genişleme göstermiştir. - Çalışma, yüksek sıcaklıklarla ilişkili sağlık risklerini azaltmak için kentsel gelişim planlamasında KIA etkilerinin ve nüfus yoğunluğunun dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır.
(Wang vd., 2024) Bu çalışma, Yan'an Şehrindeki bitki örtüsü değişikliklerinin KIA yoğunluğu üzerindeki etkisini analiz ederek, KIA etkilerinin azaltılmasını araştırmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, az gelişmiş bölgelerde soğutma ve kentsel planlama için etkili bitki örtüsü stratejileri hakkında bilgi sağlamak için 2017'den 2022'ye kadar MODIS verilerini kullanarak NDVI ve LST arasındaki korelasyonu araştırmak hedeflenmiştir.	Bu çalışma kapsamında, - Bitki örtüsü değişikliklerini, KIA alanlarını ve NDVI ile LST arasındaki korelasyonları analiz etmek için 2017'den 2022'ye kadar MODIS verileri kullanılmıştır. - ArcGIS araçları kullanılarak korelasyon analizi yapılmıştır. - Çalışma ayrıca KIA alanlarının çıkarılması, KIA yoğunluğunun hesaplanması ve Yan'an Şehrindeki yüksek sıcaklık bölgelerini belirlemek için arazi yüzeyi termal alan seviyelerinin tespit edilmesini içermektedir.	Çalışma bulguları, bitki örtüsünün Yan'an Şehrindeki KIA üzerindeki mekansal ve zamansal etkilerini ortaya koymuştur. - Etkili bitki örtüsü azaltma türlerini tanımlamış ve KIA'leri azaltabilecek orman çeşitlerini belirlemiştir. - Sonuçlar, şehirdeki orman yerleşimi ve ekolojik koruma stratejileri hakkında karar vermek için bir temel oluşturmaktadır.
(Khan ve Shahid, 2024) Bu çalışma, MODIS verilerini kullanarak 2001'den 2022'ye kadar Pakistan'ın büyük nüfuslu şehirlerindeki KIA etkisini ve LST değişikliklerini araştırmayı amaçlamaktadır. Artan sıcaklıklara ve kötüleşen hava kalitesine katkıda bulunan faktörleri anlamak için bu şehirlerdeki kentsel, nüfus artışı ve çevresel koşullar arasındaki ilişki analiz edilmiştir.	Bu çalışma kapsamında, beş ana adım kullanılmıştır: - Veri hazırlama MODIS Aqua LST verilerinin çıkarılmasını içermiştir, - Mekansal ve zamansal analiz 2001'den 2022'ye kadar LST eğilimlerini değerlendirmiştir, - Eğilim analizi Mann-Kendall testini kullanmıştır, - Değişim analizi zaman içindeki LST farklılıklarını karşılaştırmıştır - Kentsel analiz yapılmış arazilere odaklanmıştır.	Çalışma, KIA etkisinin Pakistan'ın büyük nüfuslu şehirlerinde öne çıktığını ve şehir merkezlerindeki gece ve gündüz LST değerlerinde çevre bölgelere kıyasla önemli artışlar olduğunu ortaya koymuştur. - Kentsel genişleme nüfus artışı geride bırakarak kentsel sıcaklıklarda önemli bir artışa yol açmıştır. - Araştırma, bu şehirlerdeki KIA etkisinin nedenlerini anlamak için şehirleşme, nüfus yoğunluğu ve LST değişikliklerini değerlendirmenin önemini vurgulamıştır.
(Zuo vd., 2024) Bu çalışma, CA-Markov modelini kullanarak Wuhan'ın ana kentsel bölgesinde KIA olgusunu analiz etmeyi ve gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Arazi kullanım verilerini iyileştirerek ve arazi örtüsü değişikliklerinin zaman içinde KIA üzerindeki etkisini araştırarak simülasyon sonuçlarının doğruluğunu artırmaya odaklanmaktadır. Bu çalışma, CA-Markov modelini kullanarak Wuhan'ın ana kentsel bölgesinde KIA olgusunu analiz etmeyi ve gelecekteki iklim koşullarını tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Arazi kullanım verilerini iyileştirerek ve arazi örtüsü değişikliklerinin zaman içinde KIA üzerindeki etkisini araştırarak simülasyon	Bu çalışma kapsamında, - Yüksek hassasiyetli arazi kullanım verilerini elde etmek için RS teknolojilerinden yararlanılmıştır. - Arazi kullanım değişikliklerini simüle etmek ve tahmin etmek için CA-Markov modeli kullanılmıştır. - Simüle edilen arazi kullanım verileri, Wuhan'daki KIA etkisini analiz etmek için hava durumu araştırma ve tahmin modeline girilmiştir. - Yöntemin uygulanabilirliğini ve doğruluğunu doğrulamak için hava istasyonlarından alınan gözlem verileriyle karşılaştırma yapılmıştır.	Çalışma, CA-Markov modelini kullanarak 2020 için arazi kullanım verilerini simüle etmiş ve 2030 için verileri tahmin etmiştir. - Wuhan'ın ana kentsel alanındaki KIA olgusunu analiz etmiş ve kentsel genişleme nedeniyle 2030 yılına kadar yoğunlukta bir artış olduğunu göstermiştir. - Araştırma, değişen arazi kullanımının KIA ve gelecekteki iklim koşulları üzerindeki etkisine ilişkin içgörü sağlayarak, kentsel çevrenin korunması için soğuk alanların korunmasının önemini vurgulamıştır.

Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
sonuçlarının doğruluğunu artırmaya odaklanmaktadır. (Fang vd., 2024) Bu çalışma, Orta Yunnan Şehir Kümenlemesi içindeki KIA etkisini, kümenleme içindeki tüm şehirler için YKIAIY'yi ve 2000'den 2021'e kadar zamansal değişimlerini analiz etmeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - NDBI, NDVI, yerleşik alan, nüfus, GSYİH ve sanayi sektörleri gibi YKIAIY varyasyonlarını etkileyen faktörlerin değişim eğimlerini hesaplamak için Sen eğim tahmin yöntemi ve Mann-Kendall trend analizi kullanılmıştır. - Coğrafi, topoğrafik, sosyoekonomik, arazi kullanım değişikliği ve endüstriyel sonuç faktörlerinin YKIAIY eğimleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için mekansal otoresgresif yöntemler kullanılmıştır. - Araştırma, Orta Yunnan Şehir Kümesi içindeki küçük şehirlere odaklanmakta ve YKIAIY ve 2000'den 2021'e kadar zamansal değişimlerini analiz etmek için Landsat RS görüntülerini kullanmaktadır.	Çalışma, coğrafi faktörlerin SUHI değişimleri üzerinde olumlu bir etki sergilediğini, topografik, arazi kullanım değişikliği, sosyoekonomik ve endüstriyel sonuç faktörlerinin ise YKIAI değişimleri üzerinde olumsuz etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. - GSYİH, birincil sanayi ve üçüncül sanayi gibi faktörler YKIAIY'yi önemli ölçüde etkilerken, üçüncül sanayi olumlu bir etki göstermektedir. - Araştırma, YKIAIY değişimlerinde coğrafi konumun önemini vurgulamakta ve YKIAIY dinamiklerini etkileyen faktörlere dayalı olarak etkili kentsel planlama ve yönetim stratejileri için içgörü sağlamaktadır.
(Tanoori vd., 2024) Bu çalışma, kentsel konfigürasyonun KIA etkisine nasıl katkıda bulunduğunu anlamayı, arazi kullanımı ve kentsel konfigürasyon metriklerindeki zamansal eğimleri araştırmayı, LST tahmininde makine öğrenimi algoritmalarının tahmin yeteneklerini keşfetmeyi, farklı arazi örtüsü türlerinde LST'yi etkileyen önemli kentsel konfigürasyon metriklerini belirlemeyi ve Şiraz'daki kentsel form, LST modelleri ve KIA etkisi arasındaki etkileşimi aydınlatmayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - LST etkileyen peyzaj metriklerinin önemini ölçmek için Shapley eklemeli açıklamalar yöntemi kullanılmıştır. - Ayrıca, LST'yi tahmin etmek için k-kat çapraz doğrulama kullanılarak altı makine öğrenimi algoritması değerlendirilmiş ve tahmin doğruluğunu değerlendirmek için dört metrik kullanılmıştır. - Veri ön işleme, min-max tekniği kullanılarak normalleştirilmiştir. - Haritalar, ArcGIS, ENVI ve Fragstats kullanılarak analiz edilmiştir.	Çalışmada, özellikle PLAND (Peyzaj Yüzdesi) ve LPI (Peyzaj Şekli Endeksi) olmak üzere kentsel yapılandırma ölçütlerinin LST değişimlerini önemli ölçüde etkilediğine daha yüksek değerlerin kentsel alanlarda daha düşük sıcaklıklara yol açtığı tespit edilmiştir. - Farklı arazi kullanım türleri, yapılandırma ölçütlerinin LST üzerinde farklı etkiler göstererek özel kentsel planlama stratejilerine duyulan ihtiyaç ortaya koymuştur. - Şiraz'daki KIA etkisini azaltmak için yeşil alanların korunmasının ve kentsel yerleşim planlarının optimize edilmesinin önemi vurgulanmıştır.
(Elmarakby ve Elkadi, 2024) Çalışmanın amacı, Manchester'daki Transit Odaklı Gelişme (TOD) alanında kentsel morfolojisinin KIA oluşumu üzerindeki etkisini araştırmak, TOD'nin kentsel morfoloji parametreleri ile KIA yoğunluğu arasında korelasyonlar kurmak ve TOD bağlamında KIA etkisini azaltmak için kanıta dayalı öneriler sunmaktır.	Bu çalışma kapsamında, TOD'lardaki kentsel yapı ve KIA arasındaki ilişkileri araştırmak için bağlam analizi, RS, SPSS korelasyon analizi ve Sankey diyagram analizi gibi metodolojiler kullanılmıştır.	Çalışma, Manchester'ın TOD'larındaki kentsel yapı parametreleri ile KIA etkisi arasındaki korelasyonları ortaya koymuş ve arazi kullanım çeşitliliği, nüfus yoğunluğu ve bina yüksekliği gibi faktörlerin KIA yoğunluğu üzerindeki etkisini vurgulamıştır.
(Zhang vd., 2024) Bu çalışma, farklı zaman ölçeklerindeki zamansal değişimlerini analiz etmek ve çok zaman ölçekli arka plan iklim zorlamasıyla ilişkisini anlamak için Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (STFT) yöntemini kullanarak 2000-2020 döneminde Pekin'deki gölgelik kentsel ısı adası yoğunluğu (GKIAIY) gelişimini araştırmayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, Pekin'deki CKIAI'nin 2000'den 2020'ye kadar farklı zaman ölçeklerinde gelişimini analiz etmek için STFT yöntemi kullanılmıştır.	Çalışma, Pekin'deki CKIAI gelişiminin doğrudan çok zaman ölçekli arka plan iklim zorlamasıyla ilişkili olduğunu bulmuştur. - GKIAIY'nin yıl içi STFT spektrumunda V şeklinde bir model ortaya çıkararak Pekin'deki GKIAIY gelişiminde mevsimsel bir asimetriye işaret etmiştir. - Çalışma ayrıca Batı Pasifik Subtropikal Yüksekliğinin (WPSH) GKIAIY dalgalanmaları üzerindeki etkisini vurgulamış ve WPSH ile GKIAIY spektral yoğunlukları arasında önemli bir pozitif korelasyon olduğunu göstermiştir.
(Singh vd., 2024) Bu çalışma, önemli ölçüde kentleşmeye maruz kalan Bhopal şehrinde artan LST'nin YKIAI üzerindeki etkisinin boyutunu ve bunun biyofiziksel parametreler üzerindeki olumsuz sonuçlarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - LULC haritaları oluşturmak ve LST, NDVI ve NDBI hesaplamak için Landsat TM ve OLI uyduları görüntüleri kullanılmıştır. - Görüntü segmentasyonu denetimli sınıflandırma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve doğrulama için genel doğruluk ve Kappa endeksi gibi istatistiksel parametreler kullanılmıştır. - Rastgele 500 noktadan toplanan LST, NDVI ve NDBI değerleri arasındaki ilişkileri incelemek için korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır.	- Çalışma, Bhopal şehrinde 2008'den 2020'ye kadar LST'de 2°C'lik bir artış olduğunu ortaya koymuş ve bunun başlıca nedeninin arazi kullanımındaki değişiklikler ve hızlı kentleşme olduğunu göstermiştir. - LST ile NDBI arasında güçlü pozitif korelasyonlar gözlenmiştir, bu da yerleşim alanlarının LST üzerinde doğrudan etkisini göstermektedir. - Buna karşılık, LST ile NDVI arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur, bu da LST arttıkça bitki örtüsünün sağlığında bir düşüş olduğunu göstermektedir.
(Peng vd., 2024) Bu çalışma, 2000'den 2018'e kadar Çin'deki 31 büyük şehrin kentsel genişleme alanlarındaki YKIAI evrim modellerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Nihai hedef, YKIAI evrimini ve kentsel genişleme alanlarındaki itici güçleri anlayarak kentsel planlamada ayrıntılı rehberlik sağlamaktır.	Bu çalışma kapsamında, - Her bir şehir için üç göstergenin zaman içindeki evrim oranlarını belirlemek üzere sıradan en küçük karelere dayalı doğrusal bir regresyon modeli kullanılmıştır. - Ayrıca evrimsel oranların anlamlılığını incelemek için t-testleri kullanılmıştır. - Ek olarak, YKIAI evrimsel modellerini sınıflandırmak için özellikler olarak normalleştirilmiş evrimsel oranlar kullanılarak K-ortalamlar kümelemesi uygulanmış ve kentsel genişleme alanlarındaki farklı evrimsel modeller arasındaki karşılıklı dönüşümün itici güçlerini belirlemek için multinomial lojistik regresyon kullanılmıştır.	- Çalışma bulgularına göre kentsel genişleme alanları YKIAI aralık oranı, ortalama yoğunluk ve maksimum yoğunlukta artan bir eğilim sergilemiştir. - Şehirler beş evrimsel tipte kategorize edilmiştir: Azalan, dengeli artan, menzili ağırlıklı artan, yoğunluk ağırlıklı artan ve iki boyutlu artan. - İklim koşulları, nüfus dağılımı ve endüstriyel yapı, kentsel genişleme alanlarında YKIAI'nin evrimini etkileyen baskın faktörler olarak belirlenmiştir.
(Oukawa vd., 2024) Çalışmanın amacı, KIAI'yi doğru bir şekilde değerlendirmek için modeller geliştirmektir. Ayrıca kentsel alanlarda KIAI'yi azaltmada Doğa Temelli Çözümlerin (NBS) etkinliğini değerlendirmek için simülasyon senaryoları oluşturulmuştur.	Bu çalışma kapsamında, - KIA zamansal gelişimini simüle etmek ve müdahalelerin KIA'nin azaltılması üzerindeki etkisini değerlendirmek için RF regresyon modelleri kullanılmıştır. - Modeller, değişen hava koşulları altında KIA yoğunluğunu tahmin etmek için atmosferik veriler ve yüzey özellikleri kullanılarak geliştirilmiştir.	- Çalışma, KIAI tahmin etmek için yüksek açıklayıcı güce sahip modelleri başarıyla geliştirmiş ve kentsel alanlarda ağaç kapsamının artırılmasının KIAI'yi azaltabileceğini ve genel termal konforu iyileştirebileceğini göstermiştir. - Araştırma, KIAI'nin azaltılması için NBS geliştirilmesinde ek faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır.
(Rinchumphu vd., 2024) Bu çalışma, Chiang Mai'nin kentsel iklim bağlamında tarımsal üretim alanlarının, özellikle de pirinç tarlalarının ve bahçeciliğin yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlamaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - Chiang Mai Kapsamlı Plan sınırları dahilinde 2017'den 2023'e kadar yaz LST kategorilerinin oranını analiz etmek için RS verileri kullanılmıştır. - LST'yi etkileyen faktörleri değerlendirmek için NDVI, NDBI ve MNDWI gibi yüzey biyofiziksel parametrelerine odaklanmıştır. - Arazi kullanım bölgelemesi analizi, blok ölçeğinde bu parametrelerin ortalama değerlerinin hesaplanmasını içermektedir.	- Çalışma, pirinç tarlaları ve bahçecilik dahil olmak üzere tarımsal üretim alanlarının Chiang Mai'nin kentsel iklim bağlamında LST'yi önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur. - Tarımsal bölgeler, yüzey sıcaklıklarının düşürülmesinde ve kentsel termal ortamın olumlu yönde etkilenmesinde önemli bir rol oynamıştır.
(Bansal ve Quan, 2024) Bu çalışma, makine öğrenimi tekniklerini kullanarak Seul'deki kentsel form faktörleri ile CKIAI etkileri arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi incelemeyi amaçlamaktadır. CKIAI etkilerinin tahmin etmek ve çeşitli regresyon modellerini karşılaştırmak için farklı zaman örneklerinde hava sıcaklığı gözlemlerini analiz etmeye odaklanmaktadır.	Bu çalışma kapsamında, - CKIAI ilişkilerini analiz etmek için RF ve gradyan artırma karar ağaçları (GBDT, XGBoost, LightGBM) dahil olmak üzere makine öğrenimi modelleri kullanılmıştır. - Bu ilişkileri araştırmak için geleneksel regresyon modelleri de kullanılmıştır. - Analiz, model performanslarının karşılaştırılmasını, bağımsız değişken çiftleri için PCC değerlerinin hesaplanmasını ve kentsel form faktörleri ile CKIAI etkileri arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri ortaya çıkarmak için kısmi bağımlılık grafiklerinin kullanılmasını içermektedir.	Çalışma, GBDT ve SAC modellerinin tüm değişkenler ve zaman aralıkları için tutarlı etki yönleri gösterdiğini ortaya koymuştur. - Bununla birlikte, form-CKIAI ilişkisi anlamlı olduğunda GBDT ve SAC modelleri arasındaki kısmi bağımlılık grafiklerinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. - Ortalama CKIAI etkisi farklı zaman örneklerinde değişiklik göstermiş, gerçek ilişki doğrusal olmadığında SAC modelleri en iyi doğrusal tahmini sağlamıştır.
(Renc ve Lupikasza, 2024) Bu çalışma, 1986-2021 yılları arasında Güney Polonya'daki GZM bölgesinde YKIAI kapsamı ve yoğunluğundaki mekansal ve zamansal değişiklikleri değerlendirmeyi amaçlamıştır. Kentleşmenin, arazi örtüsü değişikliklerinin ve demografik faktörlerin YKIAI modelleri	Bu çalışma kapsamında, - GZM alanındaki LST ve YKIAI göstergelerini analiz etmek için uydur verileri ve RS teknikleri kullanılmıştır. - LST'yi tahmin etmek için uydur görüntülerinin işlenmesini, sıcak ada alanı endeksinde dayalı YKIAI göstergelerinin hesaplanmasını ve Copernicus arazi izleme hizmetleri verilerini kullanarak arazi	Çalışma, nüfus yoğunluğu ile GZM bölgesindeki YKIAI kapsamı arasında önemli korelasyonlar olduğunu ortaya koymuştur. - Nüfus yoğunluğu, YKIAI kapsamındaki varyansın %95'ine kadarını açıklayarak güçlü etkisinin altını çizmiştir. - Araştırma ayrıca, arazi örtüsü kompozisyonundaki uzun vadeli değişikliklerin, kentleşmenin ve iklim değişikliğinin çalışma alanındaki YKIAI modelleri ve LST değişimleri üzerinde kayda değer bir etkisi olduğunu göstermiştir.

Kaynak/Amaç ve Hedefler	Metodoloji	Sonuçlar
üzerindeki etkisini anlamaya çalışmıştır. Ayrıca araştırma, kentsel gelişim ve çevresel koşullar bağlamında LST değişimleri ile iklim değişikliği göstergeleri arasındaki ilişkiyi araştırmayı amaçlamıştır. (Wang vd., 2024) Çalışma, kentsel idari bölgelerdeki ısıya neden olan çevresel faktörleri analiz etmeyi, iyileştirme stratejilerini belirlemeyi ve ısı adası politikaları için bilimsel bir temel sağlamayı amaçlamaktadır. Taichung Şehri içindeki farklı bölgelerin gelişim durumunu anlamak ve ilgili soğutma stratejilerini önermek için yenilikçi makine öğrenimi araştırma yöntemlerini kullanmaya odaklanmaktadır. (Gorai vd., 2024) Bu çalışma, istatistiksel modelleme ve RS veri setlerini kullanarak Kalküta'nın mega kentindeki on yıllık LULC değişikliklerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir kentsel kalkınmaya yönelik şehir plancıları ve yönetim stratejileri için içgörü sağlamak üzere YKIA etkilerini ve Kentsel Termal Alan Değişkenlik İndeksi (UTFVI) değişikliklerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.	örtüsü bileşimindeki uzun vadeli değişikliklerin değerlendirilmesini içermektedir. - Demografik veriler, nüfus faktörleri ve YKIA kapsamı arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson korelasyonu ve belirleme katsayısı dahil olmak üzere istatistiksel analizler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, - Isıya neden olan faktörleri analiz etmek için sınıflandırma ve regresyon ağacı (CART) algoritması, hava sıcaklığını etkileyen temel çevresel faktörleri belirlemek için karar ağacı analizi ve yüksek ve orta-düşük yoğunluklu gelişim alanları için çevresel faktörlerdeki değişiklikleri simüle etmek için geri yayılım sinir ağı (BPNN) modellenmesi kullanılmıştır. Q - GIS yazılımı kullanılarak verilerin geometrik olarak düzeltilmesi, arazi kullanımı ve arazi örtüsü verilerinin üst üste bindirilmesi ve geçirimsizlik, pürüzlülük ve soğutma derece saatleri gibi faktörlerin analiz edilmesi kullanılan temel yöntemlerdir. Bu çalışma kapsamında, 1991'den 2021'e kadar LULC sınıflandırmak için istatistiksel modelleme ve RS veri setleri kullanılmış, yapılaşma ve bitki örtüsü kayıplarına odaklanılmıştır. - Ayrıca termal durum ölçümü için LST yaklaşılmış, YKIA ve UTFVI değişiklikleri analiz edilmiş ve çevresel etki değerlendirmesi için jeo-mekânsal göstergeler değerlendirilmiştir.	Çalışma, kentsel ısıyı etkileyen geçirimsizlik, pürüzlülük ve soğutma derece saatleri gibi temel çevresel faktörleri tanımlamış ve bunların hava sıcaklığı üzerindeki etkilerini ölçmüştür. - En yüksek soğutma etkilerini elde etmek için yüksek yoğunluklu gelişim alanlarında geçirimsizliği ve pürüzlülüğü azaltmaya odaklanarak bu faktörleri iyileştirmeye yönelik stratejiler önerilmiştir. - Araştırma, ısı adası politikalarının formüle edilmesi için bilimsel bir temel sağlamış ve farklı kentsel bölgelerin özel kalkınma durumuna dayalı özelleştirilmiş çözümlerin önemini vurgulamıştır. Çalışma, yeni yol yapımı ve yerleşim yeri inşası gibi kentsel faaliyetlerinin 1991'den 2021'e kadar Kalküta ve çevresindeki kentsel yerleşik alanda %21,17'lik bir artışa yol açtığını ortaya koymuştur. - Bu genişleme açık alanların, bitki örtüsünün, tarım arazilerinin ve su kaynaklarının azalmasına neden olmuştur. - Araştırma, kentsel alanların arazi kullanımı değişiklikleri, yüzey sıcaklıkları ve yeşil alanların yapılaşmış alanlara dönüşümü üzerindeki önemli etkisini vurgulayarak, bölgede sürdürülebilir kentsel planlama ve çevre yönetiminin önemini ortaya koymuştur.

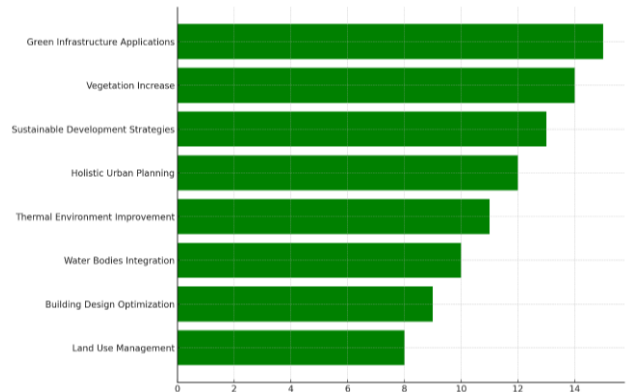


Şekil 1. İncelenen literatür kapsamında kentsel ısı adası çalışmalarında kullanılan yöntemlerin kullanıma sıklıkları.

Figure 1. Frequency of use of the methods used in urban heat island studies within the scope of the reviewed literature.

Şekil 1’de, KIA çalışmalarında en sık kullanılan yöntemler NDVI, NDBI, GIS ve RS teknikleri olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemler, kentsel çevredeki bitki örtüsü, yapılaşma yoğunluğu ve yüzey sıcaklığı gibi parametrelerin analizi için kritik önem taşımaktadır. Daha düşük sıklıkla kullanılan yöntemler arasında STFT yöntemi, Fourier-uyumlu eğriler ve Coğrafi detektör modelleri bulunmakta olup, bu yöntemler genellikle daha spesifik analizler ve detaylı modeller için tercih edilmektedir.

Sonuç olarak, çalışma alanında uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri gibi geniş kapsama alanına sahip tekniklerin daha yaygın olduğu, daha sofistike veya özel durumlara yönelik tekniklerin ise belirli çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu, araştırmaların genelde geniş ölçekli ve genel analizlere odaklandığını göstermektedir.



Şekil 2. İncelenen literatür kapsamında KIA etkilerinin azaltılmasında kullanılan kentsel planlama ve yeşil altyapı uygulama kategorileri ve kullanım sıklıkları.

Figure 2. Urban planning and green infrastructure implementation categories and their frequency of use in mitigating the impacts of UHI in the reviewed literature.

TARTIŞMA

KIA etkisinin mekânsal ve zamansal değişimlerini belirlemek amacıyla yapılan akademik çalışmalar, RS teknikleri ve çeşitli analiz yöntemlerini kullanarak detaylı bulgular ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve termal sensörler aracılığıyla, kentsel alanlarda yüzey sıcaklıklarının dağılımını incelemekte ve KIA etkisinin mekânsal ve zamansal değişimlerini analiz etmektedir. RS teknikleri, özellikle Landsat ve MODIS gibi uydu veri setleri kullanılarak, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarının zamansal ve mekânsal dağılımını incelemek için kritik öneme sahiptir. Bu teknikler, gece ve gündüz sıcaklık farklılıklarının belirlenmesinde, mevsimsel değişimlerin analizinde ve uzun vadeli eğilimlerin izlenmesinde kullanılmaktadır (Tomlinson vd., 2011).

Çalışmalarda kullanılan analiz yöntemleri arasında sıcaklık haritalama, mekânsal istatistikler, korelasyon analizleri ve regresyon modelleri önemli bir yer tutmaktadır. Sıcaklık haritalama ile kentsel alanlardaki farklı bölgelerin sıcaklık dağılımları belirlenirken,

mekânsal istatistikler ve korelasyon analizleri, yeşil alanların ve kentsel yoğunluğun sıcaklıklar üzerindeki etkilerini anlamak için kullanılmıştır (Kim vd., 2016). Regresyon modelleri ise sıcaklık artışlarının çeşitli kentsel faktörlerle olan ilişkisini sayısal olarak ortaya koymaktadır (Schaefer vd., 2021). Analizlerde kullanılan veriler, genellikle uydu görüntüleri, meteorolojik istasyon verileri, arazi kullanım verileri ve nüfus yoğunluğu gibi çeşitli kaynaklardan elde edilmiştir. Bu veriler, KIA etkisinin daha doğru ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır (Hu vd., 2017). Örneğin, uydu görüntüleri yüzey sıcaklıklarını izlerken, meteorolojik veriler hava sıcaklığı ve nem gibi atmosferik koşulları yansıtmaktadır (Chen vd., 2018). Arazi kullanım verileri ise kentsel yoğunluk, yeşil alanların miktarı ve yapılaşma şekilleri hakkında bilgiler sağlamaktadır.

Yeşil altyapı ve kentsel tasarım, KIA etkisinin azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Yeşil çatılar, dikey bahçeler ve geniş park alanları gibi yeşil altyapı unsurları, kentsel alanlarda yüzey sıcaklıklarını düşürerek daha serin bir çevre yaratmaktadır (He vd., 2021). Kentsel tasarımda ise binaların yerleşim şekilleri, sokak genişlikleri ve gölgeleme yapıları gibi faktörler dikkate alınmaktadır. Bu unsurlar, doğal havalandırmayı artırarak ve güneş ışığını engelleyerek KIA etkisini azaltmaya yardımcı olabilir (Johnson vd., 2009). Enerji etkin tasarım yaklaşımları da KIA etkisinin azaltılmasında önemlidir. Binaların enerji verimli tasarımı, daha az ısı emisyonuna neden olarak çevre sıcaklıklarının düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Yüksek yansıtıcılığa sahip malzemelerin kullanımı, binaların ve yolların yüzeylerinde daha az ısınma sağlamaktadır. Ayrıca, enerji verimli sistemler ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, KIA etkisinin azaltılmasına yönelik sürdürülebilir çözümler sunmaktadır (Chen vd., 2018).

Gerçekleştirilen çalışmalarda, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve termal sensörler, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarının zamansal ve mekânsal dağılımını belirlemede önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu kapsamda RS tekniklerinin daha yaygın kullanımı teşvik edilmeli ve bu veriler, meteorolojik istasyon verileri, arazi kullanım verileri ve nüfus yoğunluğu gibi diğer kaynaklarla entegre edilmelidir. Böylelikle, KIA etkisinin daha doğru ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi sağlanabilir.

KIA etkisini azaltmada ise yeşil altyapı ve uygun kentsel tasarım kritik bir rol oynamaktadır. Yeşil çatılar, dikey bahçeler ve geniş park alanları, kentsel alanlardaki yüzey sıcaklıklarını düşürerek daha serin bir çevre oluşturmaktadır. Bu kapsamda kentsel planlamada, yeşil alanların miktarının artırılması ve binaların yerleşim şekillerinin doğal havalandırmayı artıracak şekilde düzenlenmesi önerilmektedir. Böylelikle, yüzey

sıcaklıklarını düşürerek KIA etkisini azaltmak mümkün olabilir.

Buna ek olarak, KIA etkisi hakkında toplum bilincinin artırılması ve eğitim programları düzenlenmesi önerilmektedir. Böylelikle, özellikle sosyo-demografik olarak dezavantajlı grupların korunmasına yardımcı olunabilir. Ayrıca, KIA etkisinin azaltılması yönünde yerel yönetimler tarafından politika ve stratejiler geliştirilmelidir. Bu stratejiler, yeşil altyapı yatırımları, enerji verimli tasarım yaklaşımları ve acil durum planlarını içermelidir. Yeni teknolojilerin ve yöntemlerin geliştirilmesi teşvik edilmelidir. KIA etkisi üzerine daha fazla araştırma yapılmalı ve bu araştırmalar, çeşitli disiplinlerden gelen verilerle desteklenmelidir. Bu sayede, daha yaşanabilir ve sürdürülebilir kentsel alanlar oluşturulabilir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada sistematik literatür taramasının sonuçları, özellikle hızla gelişen bölgeler bağlamında, kentleşme ve arazi kullanımındaki değişikliklerin KIA etkisi üzerindeki önemli etkisinin altını çizmektedir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve uzaktan algılama tekniklerinden yararlanarak, arazi yüzey sıcaklıkları LST, NDVI ve NDBI mekânsal ve zamansal değişimleri başarılı bir şekilde haritalanmasıyla bu endeksler arasında gözlemlenen korelasyonlar, kentleşme, bitki örtüsü ve yüzey sıcaklıkları arasındaki ilişkiye dair önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Özellikle, LST ve NDBI arasındaki güçlü pozitif korelasyon, artan yerleşim alanlarının yükselen sıcaklıklar üzerindeki doğrudan etkisini vurgularken, LST ve NDVI arasındaki negatif korelasyon, bitki örtüsünün kentsel ısıyı azaltmadaki hafifletici rolünü vurgulamaktadır.

Bu çalışmalardaki bulgular, kentsel genişlemenin mikroklimatik koşulları nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunuyor ki bu da şehir plancıları, politika yapımcılar ve çevre bilimciler için çok önemli bulgulardır. Bu çalışmaların RS verilerini istatistiksel analizlerle ve coğrafi bilgi sistemleriyle bütünleştiren metodolojisi, hızla kentleşen diğer bölgelerdeki KIA etkisini değerlendirmek için sağlam bir çerçeve sunmakta ve benzer bağlamlarda gelecekte yapılacak araştırmalar için değerli bir referans oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmalar, KIA etkilerinin olumsuz etkilerini azaltmak için yeşil altyapı ve sürdürülebilir kentsel tasarım ilkelerinin dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Gelecekteki araştırma yönleri açısından, bu makale keşif için çeşitli yollar açmaktadır. Özellikle farklı iklim ve coğrafi ortamlarda, belirli doğa temelli çözümlerin KIA etkilerini azaltmadaki etkinliğine ilişkin daha ayrıntılı araştırmalara ihtiyaç vardır. Daha ileri çalışmalar, kentsel ısı adalarının halk sağlığı ve sosyo-ekonomik koşullar

üzerindeki uzun vadeli etkilerini de araştırabilir ve kentsel iklim sorunlarını anlamak ve ele almak için multidisipliner bir yaklaşım sunabilir. Ayrıca, makine öğrenimi ve yapay zekâ gibi gelişmiş teknolojilerin coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilmesi, KIA modellerinin tahmin doğruluğunu artırarak daha etkili kentsel planlama ve politika müdahalelerine olanak sağlayabilir. KIA etkisini şekillendirmede kentsel morfoloji, iklim değişkenleri ve insan faaliyetleri arasındaki etkileşimlerin araştırılması da daha dirençli ve sürdürülebilir kentsel ortamların geliştirilmesine rehberlik edecek değerli bilgiler sağlayabilir. Bu makale sadece belirli bir kentsel bağlamda KIA fenomenini anlamamızı iletirmekle kalmıyor, aynı zamanda kentleşmenin yerel iklimler üzerindeki etkilerini azaltmayı amaçlayan gelecekteki çalışmalar için temel bir sistematik bilgi kaynağı sağlamaktadır. Arazi kullanımı, bitki örtüsü, kentleşme ve yüzey sıcaklıkları arasındaki etkileşime odaklanan bilimsel çalışmaları incelemeye yönelik bu makale, sürdürülebilir şehir planlamasının gelecek için daha sağlıklı ve daha yaşanabilir şehirler yaratmadaki kritik rolünün altını çizmektedir.

Ayrıca bu makale, KIA'ların zaman içinde gelişen dinamiklerini takip etmek için sürekli izleme ve veri toplamanın önemini vurgulamaktadır. Özellikle hızla büyüyen bölgelerde kentleşme hızlandıkça, arazi kullanımı ve çevresel koşullardaki değişikliklere yanıt verebilecek uyarlanabilir stratejiler geliştirmek giderek daha önemli hale gelmektedir. Devam eden bu izleme, uyarlanabilir kentsel planlama ve ısıya duyarlı mahalleler gibi belirli endişe alanlarını ele alan hedefli müdahalelerin uygulanması konusunda bilgi sağlayabilir. Makalede aktarılan bilgi kaynaklarından yararlanarak araştırmacılar ve politika yapıcılar, bu çalışmaların yöntem ve bulgularını farklı kentsel ortamlara uygulayarak, KIA etkilerinin küresel modellerini daha iyi anlayabilir ve hem etkili hem de sürdürülebilir olan bağlama özgü çözümler geliştirebilirler.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı nüfus gruplarının artan sıcaklıklardan nasıl etkilendiğini ve kentsel dayanıklılığı artırmak için ne gibi önlemler alınabileceğini araştırarak KIA etkisinin sosyo-ekonomik boyutlarını da inceleyebilir. Bu, yeşil alanların ve soğutma altyapılarının, özellikle yetersiz hizmet alan topluluklarda, tüm sakinler için erişilebilir olmasını sağlayarak sosyal eşitliği teşvik etmede kentsel planlamanın rolünü incelemeyi içerebilir.

Son olarak, iklim değişikliği kentsel ısı sorunlarını şiddetlendirmeye devam ettikçe, şehir plancılar, çevre bilimciler, iklim uzmanları ve halk sağlığı uzmanlarını bir araya getiren disiplinler arası araştırmalara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu tür iş birlikleri, kentsel ısı adalarının çok yönlü doğasını ele alan, daha sürdürülebilir ve dirençli şehirler yaratmak için teknolojik yenilikleri,

politika önlemlerini ve toplum katılımını içeren bütünsel stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Özetle, bu makale sadece KIA hakkındaki mevcut bilgi birikimine katkıda bulunmakla kalmamakta, aynı zamanda kentleşmenin yerel iklimler üzerindeki etkilerini azaltmayı amaçlayan kentsel planlama ve politika kararlarını bilgilendirebilecek gelecekteki araştırmalar için zemin hazırlamaktadır. Yenilikçi araştırma yöntemleri, disiplinler arası iş birliği ve sürdürülebilirlik taahhüdünün bir kombinasyonu sayesinde, gelecekteki çalışmalar sadece ısıya karşı daha dirençli değil, aynı zamanda tüm sakinleri için daha adil ve yaşanabilir şehirlerin önünü açmaya yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR

- Badugu, A., Arunab, K.S., Mathew, A. & Sarwesh, P. (2023).** Spatial and temporal analysis of urban heat island effect over Tiruchirappalli city using geospatial techniques. *Geodesy and Geodynamics*, 14(3). DOI: [10.1016/j.geog.2022.10.004](https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.10.004)
- Bansal, P. & Quan, S.J. (2024).** Examining temporally varying nonlinear effects of urban form on urban heat island using explainable machine learning: A case of Seoul. *Building and Environment*, 247. DOI: [10.1016/j.buildenv.2023.110957](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110957)
- Benaomar, K. & Outzourhit, A. (2024).** Exploring the Complexities of Urban Forms and Urban Heat Islands: Insights from the Literature, Methodologies, and Current Status in Morocco. *Atmosphere*, 15(7), 822. DOI: [10.3390/atmos15070822](https://doi.org/10.3390/atmos15070822)
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. & Pullin, A.S. (2010).** Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3). DOI: [10.1016/j.landurbplan.2010.05.006](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006)
- Cetin, M., Ozenen Kavlak, M., Senyel Kurkcuglu, M. A., Bilge Ozturk, G., Cabuk, S.N. & Cabuk, A. (2024).** Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye. *Natural Hazards*, 120, 5509-5536. DOI: [10.1007/s11069-024-06431-5](https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5)
- Chen, Q., Ding, M., Yang, X., Hu, K. & Qi, J. (2018).** Spatially explicit assessment of heat health risk by using multi-sensor remote sensing images and socioeconomic data in Yangtze River Delta, China. *International Journal of Health Geographics*, 17(1). DOI: [10.1186/s12942-018-0135-y](https://doi.org/10.1186/s12942-018-0135-y)

- Cheng, H., Yang, B., Ke, T., Li, S., Yang, X., Aschner, M. & Chen, P. (2021). Mechanisms of metal-induced mitochondrial dysfunction in neurological disorders. *Toxics*, 9(6). DOI: [10.3390/toxics9060142](https://doi.org/10.3390/toxics9060142)
- de Souza Campos Correa, W., Rosales Aylas, G.Y., Magalhães Santiago, A., do Vale, C.C., Silva, M.E.S., da Silva, C.B., Nascentes Coelho, A., Lima Freire, A.H., Mataveli, G. & Martins Moreira, D. (2024). Temporal and Spatial Urban Heat Islands in a Coastal Brazilian Area of Tropical Climate. *Papers in Applied Geography*, 10(2). DOI: [10.1080/23754931.2024.2321561](https://doi.org/10.1080/23754931.2024.2321561)
- Debbage, N. & Shepherd, J.M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54. DOI: [10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002)
- Deng, X., Yu, W., Shi, J., Huang, Y., Li, D., He, X., Zhou, W. & Xie, Z. (2024). Characteristics of surface urban heat islands in global cities of different scales: Trends and drivers. *Sustainable Cities and Society*, 107, 105483. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105483](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105483)
- Elmarakby, E. ve Elkadi, H. (2024). Impact of urban morphology on Urban Heat Island in Manchester's transit-oriented development. *Journal of Cleaner Production*, 434. DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.140009](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140009)
- Fajary, F.R., Lee, H.S., Kubota, T., Bhanage, V., Pradana, R.P., Nimiya, H. & Putra, I.D.G.A. (2024). Comprehensive spatiotemporal evaluation of urban growth, surface urban heat island, and urban thermal conditions on Java island of Indonesia and implications for urban planning. *Heliyon*, 10(13), e33708. DOI: [10.1016/j.heliyon.2024.e33708](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33708)
- Fang, Q., Liu, C., Ren, Z., Fu, Y., Fan, H., Wang, Y. & Yu, Z. (2024). Spatiotemporal Analysis of Surface Urban Heat Island Dynamics in Central Yunnan City Cluster. *Sustainability*, 16(11), 4819. DOI: [10.3390/su16114819](https://doi.org/10.3390/su16114819)
- Gorai, N., Bandyopadhyay, J., Halder, B., Ahmed, M. F., Molla, A.H. & Lei, T.M.T. (2024). Spatio-Temporal Variation in Landforms and Surface Urban Heat Island in Riverine Megacity. *Sustainability*, 16(8), 3383. DOI: [10.3390/su16083383](https://doi.org/10.3390/su16083383)
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: Local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1). DOI: [10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2007.232_3.x)
- He, B. J., Wang, J., Liu, H. ve Ulpiani, G. (2021). Localized synergies between heat waves and urban heat islands: Implications on human thermal comfort and urban heat management. *Environmental Research*, 193. DOI: [10.1016/j.envres.2020.110584](https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110584)
- Hu, K., Yang, X., Zhong, J., Fei, F. ve Qi, J. (2017). Spatially Explicit Mapping of Heat Health Risk Utilizing Environmental and Socioeconomic Data. *Environmental Science and Technology*, 51(3). DOI: [10.1021/acs.est.6b04355](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04355)
- Johnson, D.P., Wilson, J.S. & Lubert, G.C. (2009). Socioeconomic indicators of heat-related health risk supplemented with remotely sensed data. *International Journal of Health Geographics*, 8. DOI: [10.1186/1476-072X-8-57](https://doi.org/10.1186/1476-072X-8-57)
- Kasniza Jumari, N.A.S., Ahmed, A.N., Huang, Y.F., Ng, J.L., Koo, C.H., Chong, K.L., Sherif, M. & Elshafie, A. (2023). Analysis of urban heat islands with landsat satellite images and GIS in Kuala Lumpur Metropolitan City. *Heliyon*, 9(8). DOI: [10.1016/j.heliyon.2023.e18424](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18424)
- Khan, N. ve Shahid, S. (2024). Urban heat island effect and its drivers in large cities of Pakistan. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(6), 5433–5452. DOI: [10.1007/s00704-024-04959-x](https://doi.org/10.1007/s00704-024-04959-x)
- Kim, J. H., Gu, D., Sohn, W., Kil, S. H., Kim, H. ve Lee, D. K. (2016). Neighborhood landscape spatial patterns and land surface temperature: An empirical study on single-family residential areas in Austin, Texas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9). DOI: [10.3390/ijerph13090880](https://doi.org/10.3390/ijerph13090880)
- Kim, M., Lee, K. & Cho, G.H. (2017). Temporal and spatial variability of urban heat island by geographical location: A case study of Ulsan, Korea. *Building and Environment*, 126. DOI: [10.1016/j.buildenv.2017.10.023](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.023)
- Kovats, R.S. & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29. DOI: [10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843](https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843)
- Landsberg, H.E. (1981). *The urban climate*. Academic press.
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H. & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. *In Energy* 174. DOI: [10.1016/j.energy.2019.02.183](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183)
- Liou, Y.A., Tran, D.P. & Nguyen, K.A. (2024). Spatio-temporal patterns and driving forces of surface urban heat island in Taiwan. *Urban Climate*, 53. DOI: [10.1016/j.uclim.2024.101806](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101806)
- Liu, D., Zhou, R., Ma, Q., He, T., Fang, X., Xiao, L., Hu, Y., Li, J., Shao, L. & Gao, J. (2024). Spatio-

- temporal patterns and population exposure risks of urban heat island in megacity Shanghai, China. *Sustainable Cities and Society*, **108**, 105500. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105500](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105500)
- Liu, J., Wu, J., Yang, Y., Zhang, B. & Yin, L. (2024). Exploring the spatiotemporal impacts of urban green space patterns on the core area of urban heat island. *Ecological Indicators*, **166**, 112254. DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.112254](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112254)
- Liu, S., Shi, K., Wu, Y. & Cui, Y. (2023). Suburban greening and suburbanization changing surface urban heat island intensity in China. *Building and Environment*, **228**. DOI: [10.1016/j.buildenv.2022.109906](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109906)
- Liu, Y., An, Z. & Ming, Y. (2024). Simulating influences of land use/land cover composition and configuration on urban heat island using machine learning. *Sustainable Cities and Society*, **108**, 105482. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105482](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105482)
- Mo, Y., Bao, Y., Wang, Z., Wei, W. & Chen, X. (2024). Spatial coupling relationship between architectural landscape characteristics and urban heat island in different urban functional zones. *Building and Environment*, **257**, 111545. DOI: [10.1016/j.buildenv.2024.111545](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111545)
- Modi, T., Ghosh, T., Ali, D., Alarifi, S., Choudhary, N., Kumar, P., Patel, A., Gupta, N., Niazi, P. & Yadav, V.K. (2024). Geospatial evaluation of normalized difference vegetation index (NDVI) and urban heat island: a spatio-temporal study of Gandhinagar City, Gujarat, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **15**(1). DOI: [10.1080/19475705.2024.2356214](https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2356214)
- Mohajerani, A., Bakaric, J. & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. In *Journal of Environmental Management* **197**. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.03.095](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095)
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**(455). DOI: [10.1002/qj.49710845502](https://doi.org/10.1002/qj.49710845502)
- Oukawa, G. Y., Krecl, P., Targino, A. C. & Batista, L. F. A. (2024). Advantages of modeling the urban heat island intensity: A tool for implementing nature-based solutions. *Sustainable Cities and Society*, **102**. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105204](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105204)
- Peng, J., Qiao, R., Wang, Q., Yu, S., Dong, J. & Yang, Z. (2024). Diversified evolutionary patterns of surface urban heat island in new expansion areas of 31 Chinese cities. *Npj Urban Sustainability*, **4**(1). DOI: [10.1038/s42949-024-00152-1](https://doi.org/10.1038/s42949-024-00152-1)
- Peng, S., Feng, Z., Liao, H., Huang, B., Peng, S. & Zhou, T. (2019). Spatial-temporal pattern of, and driving forces for, urban heat island in China. *Ecological Indicators*, **96**. DOI: [10.1016/j.ecolind.2018.08.059](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.059)
- Pritipadmaja, Garg, R.D. & Sharma, A.K. (2023). Assessing the Cooling Effect of Blue-Green Spaces: Implications for Urban Heat Island Mitigation. *Water*, **15**(16), 2983. DOI: [10.3390/w15162983](https://doi.org/10.3390/w15162983)
- Qi, L., Hu, Y., Bu, R., Li, B., Gao, Y. & Li, C. (2024). Evaluation of the Thermal Environment Based on the Urban Neighborhood Heat/Cool Island Effect. *Land*, **13**(7), 933. DOI: [10.3390/land13070933](https://doi.org/10.3390/land13070933)
- Rajeswari, J.R., Fountoukis, C., Siddique, A., Moosakutty, S., Mohieldeen, Y., Ayoub, M.A. & Alfara, M.R. (2024). Urban heat island phenomenon in a desert, coastal city: The impact of urbanization. *Urban Climate*, **56**, 102016. DOI: [10.1016/j.uclim.2024.102016](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102016)
- Renc, A. & Lupikasza, E. (2024). Changes in the surface urban heat island between 1986 and 2021 in the polycentric Górnślasko-Zagłbiowska Metropolis, southern Poland. *Building and Environment*, **247**. DOI: [10.1016/j.buildenv.2023.110997](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110997)
- Rinchumphu, D., Srivanit, M., Iamchuen, N. & Aryupong, C. (2024). Exploring Summer Variations of Driving Factors Affecting Land Use Zoning Based on the Surface Urban Heat Island in Chiang Mai, Thailand. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **13**(7), 228. DOI: [10.3390/ijgi13070228](https://doi.org/10.3390/ijgi13070228)
- Santamouris, M. (2015). Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions. *Science of the Total Environment*, **512-513**, 582-598. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.01.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.060)
- Schaefer, M., Ebrahimi Salari, H., Köckler, H. & Tinh, N.X. (2021). Assessing local heat stress and air quality with the use of remote sensing and pedestrian perception in urban microclimate simulations. *Science of the Total Environment*, **794**, 148709. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.148709](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148709)
- Semenzato, P. & Bortolini, L. (2023). Urban Heat Island Mitigation and Urban Green Spaces: Testing a Model in the City of Padova (Italy). *Land*, **12**(2), 476. DOI: [10.3390/land12020476](https://doi.org/10.3390/land12020476)
- Singh, P., Verma, P., Chaudhuri, A.S., Singh, V.K. & Rai, P.K. (2024). Evaluating the relationship between Urban Heat Island and temporal change in land use, NDVI and NDBI: a case study of

- Bhopal city, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **21**(3). DOI: [10.1007/s13762-023-05141-y](https://doi.org/10.1007/s13762-023-05141-y)
- Siswanto, S., Nuryanto, D.E., Ferdiansyah, M.R., Prastiwi, A.D., Dewi, O.C., Gamal, A. & Dimiyati, M. (2023). Spatio-temporal characteristics of urban heat Island of Jakarta metropolitan. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, **32**, 101062. DOI: [10.1016/j.rsase.2023.101062](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101062)
- Stone, B., Vargo, J. & Habeeb, D. (2012). Managing climate change in cities: Will climate action plans work? *Landscape and Urban Planning*, **107**(3). DOI: [10.1016/j.landurbplan.2012.05.014](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.05.014)
- Tang, X., Huang, X., Tian, J., Jiang, Y., Ding, X. & Liu, W. (2024). A spatiotemporal framework for the joint risk assessments of urban flood and urban heat island. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **127**. DOI: [10.1016/j.jag.2024.103686](https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103686)
- Tanoori, G., Soltani, A. & Modiri, A. (2024). Machine Learning for Urban Heat Island (UHI) Analysis: Predicting Land Surface Temperature (LST) in Urban Environments. *Urban Climate*, **55**, 101962. DOI: [10.1016/j.uclim.2024.101962](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101962)
- Thambawita, T., Munasinghe, D. & Yapa, L. (2023). Identification of Urban Heat Island Effect on Land Use Land Cover Changes. *Journal of Geospatial Surveying*, **3**(2), 43-53. DOI: [10.4038/jgs.v3i2.50](https://doi.org/10.4038/jgs.v3i2.50)
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. & Baker, C.J. (2011). Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*, **10**. DOI: [10.1186/1476-072X-10-42](https://doi.org/10.1186/1476-072X-10-42)
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J. & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. In *Landscape and Urban Planning* **81**(3), 167-178. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2007.02.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001)
- Wang, J., Huang, B., Fu, D., Atkinson, P.M. & Zhang, X. (2016). Response of urban heat island to future urban expansion over the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan area. *Applied Geography*, **70**. DOI: [10.1016/j.apgeog.2016.02.010](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.02.010)
- Wang, S.Y., Ou, H.Y., Chen, P.C. & Lin, T.P. (2024). Implementing policies to mitigate urban heat islands: Analyzing urban development factors with an innovative machine learning approach. *Urban Climate*, **55**, 101868. DOI: [10.1016/j.uclim.2024.101868](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101868)
- Wang, X., Chen, Y., Wang, Z., Xu, B. ve Feng, Z. (2024). Multi-Temporal Analysis of the Impact of Summer Forest Dynamics on Urban Heat Island Effect in Yan'an City. *Sustainability*, **16**(8), 3473. DOI: [10.3390/su16083473](https://doi.org/10.3390/su16083473)
- Wenqian, J., Guoyu, R., Fengjun, J., Jiajun, H. ve Panfeng, Z. (2023). Spatial-temporal characteristics of the urban heat island effect in Xiamen, China. *Urban Climate*, **52**, 101725. DOI: [10.1016/j.uclim.2023.101725](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101725)
- Wu, B., Zhang, Y., Wang, Y., He, Y., Wang, J., Wu, Y., Lin, X. & Wu, S. (2024). Mitigation of urban heat island in China (2000–2020) through vegetation-induced cooling. *Sustainable Cities and Society*, **112**, 105599. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105599](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105599)
- Xi, Y., Wang, S., Zou, Y., Zhou, X. C. ve Zhang, Y. (2024). Seasonal surface urban heat island analysis based on local climate zones. *Ecological Indicators*, **159**, 111669. DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.111669](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111669)
- Xu, D., Wang, Y., Zhou, D., Wang, Y., Zhang, Q. & Yang, Y. (2024). Influences of urban spatial factors on surface urban heat island effect and its spatial heterogeneity: A case study of Xi'an. *Building and Environment*, **248**, 111072. DOI: [10.1016/j.buildenv.2023.111072](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111072)
- Xu, H., Li, C., Hu, Y., Wang, H., Wen, D., Li, Z., Ping, X., Wang, Q. & Li, Q. (2024). Spatiotemporal evolution and influencing factors of surface urban heat island footprint across different-sized cities. *Urban Climate*, **54**, 101852. DOI: [10.1016/j.uclim.2024.101852](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101852)
- Xu, Y., Jia, R., Liu, J., Han, D., He, T., Xu, X., Liu, L., Sun, Z. & Qiao, Z. (2024). The population exposure risk of urban heat island effect: From the perspective of urban spatial expansion in China. *Building and Environment*, **258**, 111565. DOI: [10.1016/j.buildenv.2024.111565](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111565)
- Yang, H., Wu, Z., Dawson, R.J., Barr, S., Ford, A. & Li, Y. (2024). Quantifying surface urban heat island variations and patterns: Comparison of two cities in three-stage dynamic rural–urban transition. *Sustainable Cities and Society*, **109**, 105538. DOI: [10.1016/j.scs.2024.105538](https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105538)
- Yin, Z., Liu, Z., Liu, X., Zheng, W. & Yin, L. (2023). Urban heat islands and their effects on thermal comfort in the US: New York and New Jersey. *Ecological Indicators*, **154**, 110765. DOI: [10.1016/j.ecolind.2023.110765](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110765)
- Yuan, D., Zhang, L., Fan, Y., Sun, W., Fan, D. & Zhao, X. (2024). Spatio-Temporal Analysis of Surface

- Urban Heat Island and Canopy Layer Heat Island in Beijing. *Applied Sciences*, **14**(12), 5034. DOI: [10.3390/app14125034](https://doi.org/10.3390/app14125034)
- Yuan, S., Ren, Z., Shan, X., Deng, Q. & Zhou, Z. (2023).** Seasonal different effects of land cover on urban heat island in Wuhan's metropolitan area. *Urban Climate*, **49**, 101547. DOI: [10.1016/j.uclim.2023.101547](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101547)
- Zhang, H., Wang, C., Yang, H. & Ma, Z. (2024).** How do morphology factors affect urban heat island intensity? an approach of local climate zones in a fast-growing small city, Yangling, China. *Ecological Indicators*, **161**, 111972. DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.111972](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111972)
- Zhang, L., Luo, F., Pan, G., Zhang, W., Ren, G., Zheng, Z. & Yang, Y. (2024).** Elucidating the Multi-Timescale Variability of a Canopy Urban Heat Island by Using the Short-Time Fourier Transform. *Geophysical Research Letters*, **51**(1), 1-11. DOI: [10.1029/2023GL106221](https://doi.org/10.1029/2023GL106221)
- Zhao, H. X. ve Magoulès, F. (2012).** A review on the prediction of building energy consumption. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **16**(6), 3586-3592. DOI: [10.1016/j.rser.2012.02.049](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.049)
- Zhao, M., Cai, H., Qiao, Z. ve Xu, X. (2016).** Influence of urban expansion on the urban heat island effect in Shanghai. *International Journal of Geographical Information Science*, **30**(12), 2421-2441. DOI: [10.1080/13658816.2016.1178389](https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1178389)
- Zhao, Z., Li, W., Zhang, J. ve Zheng, Y. (2024).** Constructing an urban heat island network based on connectivity perspective: A case study of Harbin, China. *Ecological Indicators*, **159**, 111665. DOI: [10.1016/j.ecolind.2024.111665](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111665)
- Zuo, W., Ren, Z., Shan, X., Zhou, Z. ve Deng, Q. (2024).** Analysis of Urban Heat Island Effect in Wuhan Urban Area Based on Prediction of Urban Underlying Surface Coverage Type Change. *Advances in Meteorology*, **2024**, 1-19. DOI: [10.1155/2024/4509221](https://doi.org/10.1155/2024/4509221)



Green Campus Initiatives: Assessing the Impact and Necessity of Sustainable Practises in Higher Education Institutions

Huriye Simten SÜTÜNÇ*

Siirt University, Faculty of Agriculture, Department of Landscape Architecture, Kezer Campus, 56100, Siirt, Türkiye

Received: 27.08.2024

Accepted: 30.12.2024

Published: 31.01.2025

How to cite: Sütünc, H.S. (2025). Green Campus Initiatives: Assessing the Impact and Necessity of Sustainable Practises in Higher Education Institutions. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 15-24). <https://doi.org/10.35229/jaes.1539272>

Atıf yapmak için Sütünc, H.S. (2025). Yeşil Kampüs Girişimleri: Yükseköğretim Kurumlarında Sürdürülebilir Uygulamaların Etkisi ve Gerekliğin Değerlendirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 15-24). <https://doi.org/10.35229/jaes.1539272>

<https://orcid.org/0000-0002-0149-9953>

***Corresponding author's:**
Huriye Simten SÜTÜNÇ
Siirt University, Faculty of Agriculture,
Department of Landscape Architecture, Kezer
Campus, 56100, Siirt, Türkiye
✉: simten.sutunc@siirt.edu.tr

Abstract: This study examines the implementation and impact of sustainable practises at three universities: University of Copenhagen, University of Nottingham, and Middle East Technical University. Using a mixed-methods approach combining quantitative data analysis and qualitative document review, the research evaluates six key criteria: Energy efficiency, green spaces, waste management, environmental education, carbon footprint reduction, and sustainable transportation. The findings demonstrate significant progress across all institutions in reducing environmental impact, with notable achievements in energy efficiency and carbon emissions reduction. While approaches vary based on local contexts, all universities show a commitment to integrating sustainability into curricula and campus operations. The study reveals that sustainable campus practises contribute positively to environmental conservation, potentially enhance student well-being, and foster environmental consciousness. However, challenges remain, including the need for long-term planning and resource allocation. The research underscores the importance of tailoring sustainability strategies to specific institutional and cultural contexts. It concludes that universities play a crucial role in driving sustainability efforts, not only within their campuses but also in broader societal transitions towards sustainable development. The study recommends further longitudinal research to assess long-term impacts on student behaviour and societal outcomes.

Keywords: Carbon footprint, energy efficiency, environmental education, green spaces, sustainable campus, waste management.

Yeşil Kampüs Girişimleri: Yükseköğretim Kurumlarında Sürdürülebilir Uygulamaların Etkisi ve Gerekliğin Değerlendirilmesi

Öz: Bu çalışma, üç üniversitede sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesini ve etkilerini incelemektedir: Kopenhag Üniversitesi, Nottingham Üniversitesi ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Nicel veri analizi ve nitel belge incelemesini birleştiren karma yöntem yaklaşımını kullanan araştırma, altı temel ölçütü değerlendirmektedir: Enerji verimliliği, yeşil alanlar, atık yönetimi, çevre eğitimi, karbon ayak izinin azaltılması ve sürdürülebilir ulaşım. Bulgular, enerji verimliliği ve karbon emisyonlarının azaltılmasında kayda değer başarılarla birlikte, çevresel etkinin azaltılmasında tüm kurumlarda önemli ilerleme kaydedildiğini göstermektedir. Yaklaşımlar yerel bağlamlara göre değişmekle birlikte, tüm üniversiteler sürdürülebilirliği müfredata ve kampüs operasyonlarına dâhil etme konusunda kararlılık göstermektedir. Çalışma, sürdürülebilir kampüs uygulamalarının çevrenin korunmasına olumlu katkıda bulunduğunu, potansiyel olarak öğrencilerin refahını artırdığını ve çevre bilincini teşvik ettiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, uzun vadeli planlama ve kaynak tahsisi ihtiyacı da dâhil olmak üzere zorluklar devam etmektedir. Araştırma, sürdürülebilirlik stratejilerinin belirli kurumsal ve kültürel bağlamlara göre uyarlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Araştırma, üniversitelerin sadece kendi kampüslerinde değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmaya yönelik daha geniş toplumsal geçişlerde de sürdürülebilirlik çabalarını yönlendirmede çok önemli bir rol oynadığı sonucuna varmaktadır. Çalışma, öğrenci davranışları ve toplumsal sonuçlar üzerindeki uzun vadeli etkileri değerlendirmek için daha fazla boyamsal araştırma yapılmasını önermektedir.

Anahtar kelimeler: Atık yönetimi, çevresel eğitim, enerji verimliliği, karbon ayak izi, sürdürülebilir kampüs, yeşil alanlar.

***Sorumlu yazar:**
Huriye Simten SÜTÜNÇ
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj
Mimarlığı Bölümü, Kezer Yerleşkesi,
56100, Siirt, Türkiye
✉: simten.sutunc@siirt.edu.tr

INTRODUCTION

In recent years, the concept of sustainability has gained significant traction in various sectors, with higher education institutions increasingly recognising their role in promoting and implementing sustainable practises. The notion of a “green campus” has emerged as a critical paradigm in university management and planning, encompassing a wide range of initiatives aimed at reducing environmental impact, enhancing resource efficiency, and fostering environmental awareness among students and staff (Findler et al., 2019). The urgency of addressing climate change and environmental degradation has placed universities at the forefront of sustainable innovation and education. As microcosms of society, universities have the potential to serve as living laboratories for sustainable practises, influencing not only their immediate communities but also shaping the attitudes and behaviours of future generations of leaders and professionals (Leal Filho, et al., 2021). The implementation of sustainable green campus practises is thus not merely operational consideration but a fundamental aspect of the educational mission of these institutions. Recent studies have highlighted the multifaceted benefits of green campus initiatives. For instance, energy efficient buildings and renewable energy systems have been shown to significantly reduce operational costs and carbon emissions (Pandya et al., 2022). Additionally, the integration of green spaces and biodiversity conservation efforts on campuses has been linked to improved student well-being and cognitive function (Browning & Rigolon, 2019). Furthermore, comprehensive waste management and recycling programs have demonstrated substantial reductions in landfill waste and associated environmental impacts (Ebrahimi & North, 2017). However, the implementation of sustainable practises in higher education instruction is not without challenges. Financial constraints, institutional inertia, and the complexity of integrating sustainability across diverse academic and operational domains present significant hurdles (Abo-Khalil, 2024). Moreover, the effectiveness and necessity of these practises in achieving meaningful environmental and educational outcomes remain subjects of ongoing debate and research.

This study aims to assess the necessity and impact of sustainable green campus practises in universities, focusing six key criteria: Energy Efficiency and Management, Green Spaces and Biodiversity, Waste Management and Recycling, Environmental Education and Awareness, Carbon Footprint Reduction, and Sustainable Transportation. By examining case studies from diverse geographical and cultural contexts, we seek to provide a comprehensive analysis of the current state of green campus

initiatives and their implications for the future of higher education.

The primary research question guiding this study: To what extent do sustainable green campus practises in universities contribute to environmental conservation, student well-being, and the development of environmental consciousness among the university community? We hypothesise that the implementation of sustainable green campus practises in universities significantly reduces environmental impact, enhances student well-being and promotes environmental awareness, leading to long-term benefits for both the institution and its community.

The significance of this research lies in its potential to inform policy and practice in higher education institutions globally. As universities grapple with the imperative to address climate change and environmental sustainability, there is a pressing need for evidence-based strategies and best practices. This study aims to bridge the gap between theoretical frameworks of sustainability in higher education and practical implementation strategies.

Moreover, the focus on diverse case studies allows for a nuanced understanding of how cultural, economic, and geographical factors influence the adoption and effectiveness of green campus practices. By comparing approaches across different contexts, we aim to identify transferable strategies and universal principles that can guide institutions in their sustainability efforts.

The structure of this paper proceeds as follows: First, we provide a comprehensive review of the literature on sustainable green campus practices, examining current initiatives worldwide and the theoretical underpinnings of sustainability in higher education. We then outline our methodology, detailing the research design, data collection methods, and analytical framework. This is followed by an in-depth analysis of our case studies, evaluating each institution's performance across the six key criteria identified. The discussion section interprets these findings in the context of our research question and hypothesis, comparing our results with existing literature and exploring their broader implications. Finally, we conclude with recommendations for policy and practice, as well as suggestions for future research directions.

By critically examining the necessity and impact of sustainable green campus practices, this study aims to contribute to the ongoing dialogue on sustainability in higher education and provide valuable insights for institutions striving to enhance their environmental performance and educational impact in an era of unprecedented environmental challenges.

Literature Review: The concept of sustainable green campuses has gained significant traction in recent years, reflecting a growing awareness of the role higher

education institutions can play in addressing global environmental challenges. This literature review examines the current state of research on sustainable green campus practices, focusing on key concepts, initiatives, benefits, and challenges.

Concepts of sustainable green campuses: The notion of a "sustainable green campus" encompasses a wide range of practices and initiatives aimed at reducing environmental impact, promoting resource efficiency, and fostering environmental awareness within university communities. Amaral, et al., (2020) define a sustainable green campus as one that "improves energy efficiency, conserves resources, and enhances environmental quality, as well as educates for sustainability." This multifaceted approach reflects the complex interplay between physical infrastructure, operational practices, and educational missions in higher education settings. Findler et al., (2019) propose a conceptual framework for understanding the impacts of higher education institutions on sustainable development, emphasizing the need for a holistic approach that considers both direct and indirect effects. They argue that universities contribute to sustainability not only through their operational practices but also through their roles in education, research, and community engagement.

Current Practises and Initiatives Worldwide: Universities around the world have implemented a diverse array of sustainable green campus initiatives. Energy efficiency and renewable energy adoption have been at the forefront of many institutions' efforts. Pandya et al., (2022) review sustainable energy management strategies for green campus development, highlighting the growing adoption of smart grid technologies, building energy management systems, and renewable energy sources such as solar and wind power. Green spaces and biodiversity conservation have also emerged as key focus areas. Browning and Rigolon (2019) synthesize research on the impact of school green spaces on academic performance, finding positive associations between exposure to nature and cognitive function, stress reduction, and overall well-being among students. Waste management and recycling initiatives have gained prominence as universities strive to reduce their environmental footprint. Ebrahimi and North (2017) review strategies for managing campus waste through reduce, reuse, and recycle approaches, emphasizing the importance of behavioural interventions and infrastructure development in achieving significant waste reductions. Sustainable transportation has become a critical component of green campus initiatives. Balsas, (2003) examines the evolution of campus transportation planning, highlighting the shift towards promoting active transportation modes (e.g., walking, cycling) and public transit use as alternatives to private vehicle dependence. Environmental education and awareness programs have been integrated into both

curricular and co-curricular activities. Brundiers et al., (2021) analyse the incorporation of sustainability competencies in higher education, finding that while progress has been made, there is still a need for more systematic and comprehensive approaches to sustainability education.

Benefits of Implementing Green Practises: Research has documented numerous benefits associated with sustainable green campus practices. Energy efficiency measures and renewable energy adoption have been shown to yield significant cost savings and carbon emissions reductions (Pandya et al., 2022). Green spaces and biodiversity initiatives have been linked to improved mental health outcomes and increased environmental awareness among students (Browning & Rigolon, 2019). Waste reduction and recycling programs have demonstrated substantial environmental benefits, including reduced landfill waste and greenhouse gas emissions (Ebrahimi & North, 2017). Sustainable transportation initiatives have been associated with improved air quality, reduced congestion, and enhanced community relations (Balsas, 2003). Moreover, the implementation of green practices has been shown to enhance institutional reputation and attract environmentally conscious students and faculty. Findler et al., (2019) note that sustainability initiatives can serve as a differentiating factor in an increasingly competitive higher education landscape.

Challenges in Implementing Green Practices: Despite the recognized benefits, universities face several challenges in implementing sustainable green campus practices. Financial constraints often pose a significant barrier, particularly for large-scale infrastructure projects or technology upgrades (Abo-Khalil, 2024). The initial costs of implementing green technologies or practices can be substantial, even if long-term savings are anticipated. Institutional inertia and resistance to change can also impede progress. Brundiers et al., (2021) identify organizational culture and lack of interdisciplinary collaboration as key barriers to integrating sustainability across university operations and curricula. The complexity of coordinating sustainability efforts across diverse academic and operational domains presents another challenge. Amaral et al., (2020) highlight the need for effective governance structures and clear communication channels to ensure coherent and comprehensive sustainability strategies. Moreover, measuring and quantifying the impacts of green campus initiatives remains a challenge. While some metrics (e.g., energy consumption, waste reduction) are relatively straightforward to measure, others (e.g., changes in environmental awareness or behaviour) are more difficult to assess. This can make it challenging to justify investments in sustainability initiatives, particularly in resource-constrained environments (Findler et al., 2019).

Gaps in Current Research: While the literature on sustainable green campuses is growing, several gaps remain. There is a need for more longitudinal studies to assess the long-term impacts of green campus initiatives on environmental outcomes, student learning, and institutional culture. Additionally, comparative studies examining the effectiveness of different approaches across diverse geographical and cultural contexts are relatively scarce.

Furthermore, research on the integration of sustainability into academic curricula and its impact on student learning outcomes remains limited. Brundiers et al., (2021) call for more systematic approaches to assessing sustainability competencies and their development through higher education.

MATERIAL AND METHOD

This study employs a mixed-methods approach to assess the necessity and impact of sustainable green campus practices in universities. Our research design combines quantitative data analysis with qualitative document review to provide a comprehensive understanding of the subject matter.

Research Design: We adopted a comparative case study design, focusing on three universities: University of Copenhagen (Denmark), University of Nottingham (United Kingdom), and Middle East Technical University (Türkiye). These institutions were selected based on their geographical diversity, varied approaches to sustainability, and availability of data. This selection allows for a cross-cultural comparison of sustainable practices in different contexts (Yin, 2018).

Case Study Selection:

Geographical and cultural diversity: These universities represent different regions: Northern Europe (UCPH), Western Europe (UoN), and the Middle East (METU). This diversity allows for cross-cultural comparisons of sustainability practises in varying climatic, economic, and social context.

Institutional leadership in sustainability: Each university has demonstrated notable achievements in sustainability.

- UCPH is recognised for its ambitious carbon neutrality goals and comprehensive green campus strategy.
- UoN is highly ranked in global sustainability assessments and has implemented diverse sustainability projects.
- METU is a regional leader in sustainability with unique reforestation and biodiversity conservation efforts.

Data availability: These institutions likely provide publicly accessible sustainability data, including reports,

metrics, and case studies, which are essential for comparative analysis.

Complementary approaches:

- UCPH emphasises energy efficiency and smart technology integration.
- UoN excels in biodiversity and comprehensive waste management.
- METU stands out for its large-scale reforestation and renewable energy projects. This complementarity enables a holistic evaluation of diverse sustainability strategies.

Relevance to the study's objectives: The selected universities align with the study's aim to evaluate sustainable green campus practises and their impact on environmental conservation, student well-being, and environmental consciousness.

Data Collection Methods: Our data collection process involved two primary methods to ensure a rich and diverse dataset:

1. Document Analyses: We reviewed publicly available sustainability reports, strategic plans, policy documents, and official websites from each university. This provided insights into institutional commitments, goals, and reported achievements in sustainability (Bowen, 2009). The document analysis also included any published case studies, annual reports, and sustainability-related academic publications from these institutions.
2. Quantitative Data Collection: We gathered quantitative data on key performance indicators (KPIs) related to our six main criteria: Energy Efficiency and Management, Green Spaces and Biodiversity, Waste Management and Recycling, Environmental Education and Awareness, Carbon Footprint Reduction, and Sustainable Transportation. This data was collected from institutional reports, sustainability dashboards, and through direct requests to relevant departments for specific metrics not publicly available.

Analyses Techniques: Our analysis combines quantitative and qualitative methods:

1. Comparative Analysis: We used a comparative framework to analyse the KPIs across the three institutions, identifying similarities, differences, and best practices (Esser & Vliegthart, 2017).
2. Content Analysis: For qualitative data from institutional documents, we employed content analysis to identify recurring themes, stated priorities, and reported outcomes related to sustainable practices (Krippendorff, 2019).

Evaluation Criteria: Based on our literature review and the six key areas identified, we developed a comprehensive evaluation framework. Each criterion was

assessed using multiple indicators, combining quantitative metrics (e.g., energy consumption per square meter, percentage of waste recycled, carbon emissions reduction) with qualitative assessments (e.g., robustness of environmental education programs, integration of sustainability into curriculum, institutional policies on sustainable procurement).

This methodology aims to provide a robust and nuanced assessment of sustainable green campus practices, contributing to the growing body of research on sustainability in higher education. By focusing on document analysis and quantitative metrics, we seek to offer an

objective comparison of sustainable practices across different institutional contexts.

RESULTS

This section presents the findings from our analysis of three universities: University of Copenhagen (Denmark), University of Nottingham (United Kingdom), and Middle East Technical University (Türkiye) (Figure 1).

Each case study is evaluated based on the six key criteria identified in our methodology (Table 1).

Table 1. Key sustainability indicators.

Criterion	University of Copenhagen (UCPH)	University of Nottingham (UoN)	Middle East Technical University (METU)
Energy consumption reduction	47% (2006-2021)	32% (2010-2021)	25% (2015-2021)
Carbon emissions reduction	65% (2006-2021)	40% (2009-10-2021)	20% (2018-2021)
Green space coverage	25% of campus	300 – acre park campus	3,100 hectares (forested area)
Recycling rate	58%	65%	45%
Sustainable transportation use	75%	65%	Extensive bike network, electric shuttles

University of Copenhagen (UCPH), Denmark:

UCPH has established itself as a leader in campus sustainability, particularly in the Nordic region. The university's commitment to sustainability is evident in its comprehensive Green Campus 2020 strategy (Poulsen et al., 2023).

a) Energy Efficiency and Management

UCPH has made significant strides in energy efficiency. Between 2006 and 2021, the university reduced its energy consumption by 47% per full-time equivalent (FTE) student. The installation of smart meters and energy management systems across campus buildings has contributed to this achievement (Poulsen et al., 2023).

b) Green Spaces and Biodiversity

The university has dedicated 25% of its campus area to green spaces. The Botanical Garden, covering 10 hectares, serves as a biodiversity hotspot and living laboratory. UCPH has also implemented green roofs on several buildings, enhancing urban biodiversity (Fors, et al., 2021).

c) Waste Management and Recycling

UCPH has implemented a comprehensive waste sorting system, achieving a recycling rate of 58% in 2021. The university has also introduced a zero-waste policy in its catering services, significantly reducing single-use plastics (Poulsen et al., 2023).

d) Environmental Education and Awareness

Sustainability is integrated into 30% of all study programs at UCPH. The university offers a cross-disciplinary sustainability science master's program and has incorporated sustainability modules into various other courses (Leal Filho et al., 2021).

e) Carbon Footprint Reduction

UCPH aims to become CO₂-neutral by 2030. As of 2021, the university had reduced its carbon emissions by

65% compared to 2006 levels, primarily through energy efficiency measures and the switch to renewable energy sources (Poulsen et al., 2023).

f) Sustainable Transportation

The university has implemented a green mobility plan, promoting cycling and public transport use. Bicycle parking facilities have been expanded, and a bike-sharing program has been introduced. As a result, 75% of students and staff use sustainable transportation modes for commuting (Poulsen et al., 2023).

University of Nottingham (UoN), United Kingdom: The University of Nottingham has been recognized for its sustainable campus initiatives, consistently ranking high in global sustainability assessments ("UI Green Metric," 2022).

a) Energy Efficiency and Management

UoN has reduced its energy consumption by 32% between 2010 and 2021, despite campus expansion. The university has invested in on-site renewable energy generation, including a 1MW solar farm (University of Nottingham, 2022).

b) Green Spaces and Biodiversity

The university's 300-acre park campus is home to diverse ecosystems. UoN has implemented a biodiversity action plan, which includes the creation of wildflower meadows and the installation of beehives. The campus hosts over 240 species of birds and 800 species of plants (University of Nottingham, 2022).

c) Waste Management and Recycling

UoN has achieved a recycling rate of 65% in 2021. The university has implemented a comprehensive waste reduction strategy, including a reuse program for office furniture and equipment (University of Nottingham, 2022).

d) Environmental Education and Awareness

Sustainability is embedded in the curriculum across all faculties. The university offers a Sustainability, Culture and Development degree and has introduced sustainability-focused modules in various other programs (Leal Filho et al., 2021).

e) Carbon Footprint Reduction

UoN aims to be carbon neutral by 2028. The university has reduced its carbon emissions by 40% since 2009/10, primarily through energy efficiency measures and the adoption of renewable energy sources (University of Nottingham, 2022).

f) Sustainable Transportation

The university has implemented a sustainable transport strategy, including a bike hire scheme and subsidized public transport passes for staff and students. As a result, 65% of all journeys to and from the university are made by sustainable modes of transport (University of Nottingham, 2022).

Middle East Technical University (METU), Türkiye: METU has emerged as a regional leader in campus sustainability, demonstrating significant progress despite operating in a different economic and cultural context ("Greenmetrics | SUSTAINABLE CAMPUS," 2024).

a) Energy Efficiency and Management

METU has reduced its energy consumption by 25% between 2015 and 2021. The university has installed a solar power plant with a capacity of 5 MW, which meets approximately 30% of the campus electricity demand ("Greenmetrics | SUSTAINABLE CAMPUS," 2024) (Figure 1).

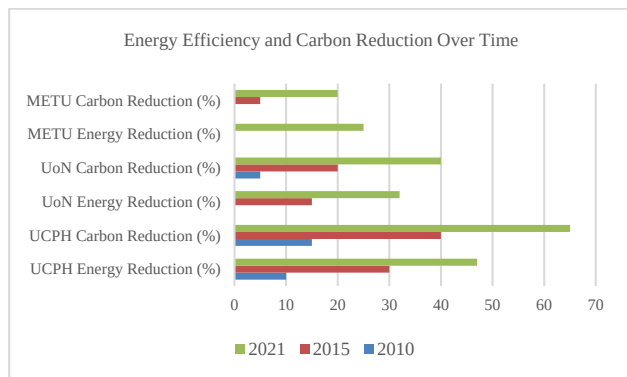


Figure 1. Energy efficiency and carbon reduction over time.

b) Green Spaces and Biodiversity

The university campus, often referred to as "METU Forest," covers an area of 4,500 hectares, of which 3,100 hectares are forested. METU has planted over 50,000 trees in the last decade and hosts a variety of wildlife species (Kiraz, 2018).

c) Waste Management and Recycling

METU has implemented a comprehensive waste management system, achieving a recycling rate of 45% in

2021. The university has also established a composting facility for organic waste from cafeterias and landscaping activities ("Greenmetrics | SUSTAINABLE CAMPUS," 2024).

d) Environmental Education and Awareness

METU offers various sustainability-focused programs, including an Earth System Science graduate program. The university has also integrated sustainability concepts into its general education curriculum (Leal Filho et al., 2021).

e) Carbon Footprint Reduction

METU aims to reduce its carbon emissions by 50% by 2030 compared to 2018 levels. As of 2021, the university had achieved a 20% reduction, primarily through energy efficiency measures and renewable energy adoption ("Greenmetrics | SUSTAINABLE CAMPUS," 2024).

f) Sustainable Transportation

METU has implemented a green transportation plan, including a campus-wide bicycle network and electric shuttle buses. The university has also introduced car-pooling incentives for staff and students ("Greenmetrics | SUSTAINABLE CAMPUS," 2024) (Figure 2).

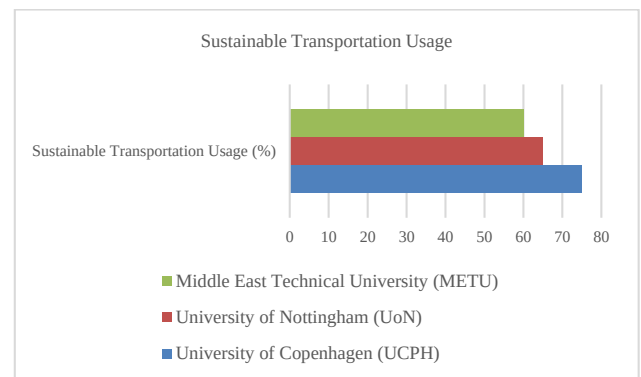


Figure 2. Sustainable transportation usage.

Comparative Analysis: Our analysis reveals both commonalities and differences in the approaches and achievements of these three institutions:

1. All three universities have made significant progress in energy efficiency and carbon reduction, with UCPH showing the most substantial improvements.
2. Green spaces and biodiversity conservation are prioritized across all institutions, with METU's extensive forested campus standing out.
3. Waste management strategies are well-developed in all three universities, with UoN achieving the highest recycling rate.
4. All institutions have integrated sustainability into their curricula, but the extent and approach vary.

5. Carbon footprint reduction targets are ambitious across all three universities, with UCPH and UoN setting earlier neutrality deadlines.
6. Sustainable transportation initiatives are present in all cases, with UCPH achieving the highest rate of sustainable commuting.

These results demonstrate that while the specific approaches may vary based on local contexts, all three institutions have made substantial commitments to and progress in implementing sustainable green campus practices.

DISCUSSION

The case studies of the University of Copenhagen (UCPH), University of Nottingham (UoN), and Middle East Technical University (METU) provide valuable insights into the implementation and impact of sustainable green campus practices across different geographical and cultural contexts. Our findings reveal both common trends and unique approaches, contributing to the broader understanding of sustainability in higher education.

Addressing the Research Question: Our research question asked: "To what extent do sustainable green campus practices in universities contribute to environmental conservation, student well-being, and the development of environmental consciousness among the university community?" The results demonstrate significant contributions across all three areas:

Environmental Conservation: All three universities have made substantial progress in reducing their environmental footprint, particularly in terms of energy efficiency and carbon emissions reduction. UCPH's 65% reduction in carbon emissions since 2006 and UoN's 40% reduction since 2009/10 are particularly noteworthy

(University of Nottingham, 2022; Poulsen et al., 2023). These achievements align with Pandya et al. (2022) findings on the effectiveness of sustainable energy management strategies in campus settings.

Student Well-being: The emphasis on green spaces and biodiversity, particularly evident in METU's extensive forest campus and UCPH's Botanical Garden, supports the link between nature exposure and student well-being identified by Browning and Rigolon (2019). While our study did not directly measure well-being outcomes, the literature suggests that these initiatives likely contribute positively to student mental health and cognitive function.

Environmental Consciousness: The integration of sustainability into curricula across all three institutions, ranging from specific degree programs to cross-disciplinary modules, aligns with Brundiens et al., (2021)'s recommendations for developing sustainability competencies in higher education. This suggests a concerted effort to foster environmental awareness among students and staff (Table 2).

Table 2. Sustainability integration in curricula.

University	Example programs/modules	Integration level (%)
University of Copenhagen (UCPH)	Sustainability science master's program, interdisciplinary modules	30
University of Nottingham (UoN)	Sustainability, Culture and development degree	Systematic across faculties
Middle East Technical University (METU)	Earth System Science graduate program	Broad integration in general and specific curricula

Comparative Analysis: Our findings reveal that while all three universities have made significant strides in implementing sustainable practices, their approaches and achievements vary. This variation can be attributed to differences in institutional priorities, local contexts, and available resources (Table 3 and Figure 3).

Table 3. Case study comparison.

Aspect	University of Copenhagen (UCPH)	University of Nottingham (UoN)	Middle East Technical University (METU)
Energy efficiency	Smart meters, energy management systems	On-site solar farm (1MW)	5 MW solar plant covering 30% electricity demand
Green spaces	Botanical garden (10 hectares)	Wildflower meadows, beehives	Extensive reforestation efforts, METU forest
Waste management	Zero-waste catering services	Reuse program for office furniture	Composting facility for organic waste
Sustainable transportation	Green mobility plan, bike-sharing	Bike hire scheme, subsidised public transports	Campus-wide bicycle network, electric shuttles
Sustainability in Curriculum	30% of programs include sustainability	Dedicated degrees and modules	Integrated in general education and specialised programs

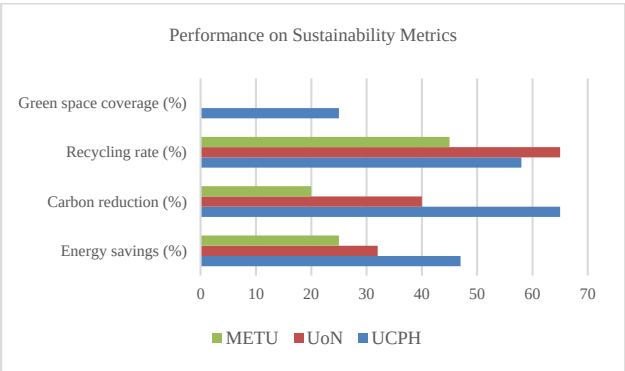


Figure 3. Performance on sustainability metrics.

For instance, UCPH's ambitious carbon neutrality target (2030) and high rate of sustainable commuting (75%) reflect Denmark's strong national commitment to sustainability ("Denmark | Climate & Clean Air Coalition. (n.d.)," 2024). In contrast, METU's extensive reforestation efforts and focus on biodiversity conservation align with Turkey's national priorities for combating desertification and land degradation (Republic of Turkey Ministry of Forestry and Water Affairs, 2023).

The similarities in waste management strategies and recycling rates across the three institutions suggest that these practices may be more easily transferable across

different contexts. This aligns with Ebrahimi and North, (2017)'s findings on the global applicability of campus waste management strategies.

Implications for Theory and Practice

Our study supports the conceptual framework proposed by Findler et al., (2019), which emphasizes the multifaceted impacts of higher education institutions on sustainable development. The case studies demonstrate that universities can indeed serve as "living laboratories" for sustainability, influencing not only their immediate communities but also contributing to broader societal transformation.

However, the variations in approach and achievement across the three institutions highlight the need for context-specific strategies. This supports Abo-Khalil (2024)'s assertion that while global best practices are valuable, they must be adapted to local conditions and institutional cultures for maximum effectiveness.

Limitations and Future Research

While our study provides valuable insights, it is limited by its focus on only three institutions and reliance on self-reported data. Future research could benefit from a larger sample size and the inclusion of more diverse geographical contexts. Additionally, longitudinal studies tracking the long-term impacts of sustainable campus practices on student behaviour and societal outcomes would significantly contribute to the field.

In conclusion, our findings support the hypothesis that the implementation of sustainable green campus practices in universities significantly reduces environmental impact, enhances student well-being, and promotes environmental awareness. However, the extent and nature of these impacts vary across institutions, underscoring the need for tailored approaches to campus sustainability.

RESULT AND RECOMMENDATIONS

Based on our analysis of sustainable green campus practices at the University of Copenhagen, University of Nottingham, and Middle East Technical University, we can draw several implications and offer recommendations for universities, policymakers, and future research directions.

Practical Implications for Universities

1. **Holistic Approach:** Our findings underscore the importance of adopting a holistic approach to campus sustainability. Universities should strive to integrate sustainable practices across all aspects of their operations, from energy management to curriculum design. This aligns with the concept of "whole-institution approach" advocated by Brundiers et al., (2021), which emphasizes the

need for systemic change in higher education institutions.

2. **Context-Specific Strategies:** While global best practices are valuable, our study highlights the importance of tailoring sustainability initiatives to local contexts. Universities should consider their unique geographical, cultural, and economic circumstances when developing sustainability strategies. This supports the findings of Ferrer-Balas et al., (2010), who emphasize the importance of contextual factors in sustainability transitions in higher education.
3. **Student Engagement:** The success of sustainable campus initiatives often hinges on student participation. Universities should actively involve students in sustainability efforts, not only through curriculum but also through co-curricular activities and decision-making processes. This aligns with Dlouhá, et al., (2018)'s research on the role of student engagement in fostering sustainability in higher education.
4. **Long-term Planning:** Achieving significant sustainability outcomes requires long-term commitment and planning. Universities should develop comprehensive, multi-year sustainability plans with clear targets and regular assessment mechanisms. This supports the recommendations of Sonetti et al., (2020) on the importance of long-term strategic planning in campus sustainability.

Policy Recommendations

1. **Incentive Structures:** Governments and higher education governing bodies should consider implementing incentive structures that reward universities for achieving sustainability targets. This could include financial incentives, recognition programs, or integration of sustainability metrics into university rankings.
2. **Collaboration Frameworks:** Policymakers should facilitate collaboration between universities, industry, and local communities on sustainability initiatives. This aligns with Trencher et al., (2014)'s concept of the "quadruple helix" model for sustainable development.
3. **Sustainability Reporting Standards:** There is a need for standardized sustainability reporting frameworks specific to higher education institutions. This would facilitate better comparison and benchmarking of sustainability efforts across universities.

Future Research Directions

1. **Longitudinal Studies:** There is a need for long-term studies tracking the impact of sustainable campus practices on student behaviour, career

choices, and societal outcomes. Such research could provide valuable insights into the broader societal impact of campus sustainability initiatives.

2. Quantifying Well-being Impacts: While our study suggests a positive link between green campus initiatives and student well-being, more research is needed to quantify these impacts. Future studies could employ mixed-methods approaches to measure the psychological and physiological effects of sustainable campus environments.
3. Sustainability in Online Learning: With the growth of online and hybrid learning models, research is needed on how to translate sustainable campus practices into virtual learning environments. This aligns with emerging research on "virtual sustainability" in higher education (Giesenbauer & Müller-Christ, 2020).
4. Economic Analysis: Future research should focus on comprehensive cost-benefit analyses of sustainable campus initiatives, considering both short-term investments and long-term savings. This could provide valuable data for universities and policymakers in decision-making processes.

In conclusion, while significant progress has been made in implementing sustainable green campus practices, there is still considerable scope for improvement and innovation. By addressing these recommendations, universities can enhance their contribution to sustainable development and better prepare students for the challenges of the 21st century.

CONCLUSION

This study set out to assess the necessity and impact of sustainable green campus practices in universities, focusing on energy efficiency, green spaces and biodiversity, waste management, environmental education, carbon footprint reduction, and sustainable transportation. Through a comparative analysis of the University of Copenhagen, University of Nottingham, and Middle East Technical University, we have gained valuable insights into the implementation and outcomes of these practices across diverse geographical and cultural contexts.

Our findings strongly support the hypothesis that the implementation of sustainable green campus practices in universities significantly reduces environmental impact, enhances student well-being, and promotes environmental awareness. The case studies demonstrate substantial progress in key areas such as energy efficiency, with notable reductions in energy consumption and carbon emissions across all three institutions. The emphasis on green spaces and biodiversity conservation not only

contributes to environmental preservation but also potentially enhances student well-being, aligning with growing research on the positive impacts of nature exposure in educational settings.

The integration of sustainability into curricula and campus operations reflects a growing recognition of universities' role in fostering environmental consciousness and preparing students to address global sustainability challenges. This aligns with the concept of universities as "living laboratories" for sustainability, where theoretical knowledge is put into practice and students gain hands-on experience in sustainable living.

However, our study also reveals that the extent and nature of sustainable practices vary across institutions, influenced by factors such as local context, institutional priorities, and available resources. This underscores the need for tailored approaches to campus sustainability, rather than a one-size-fits-all model.

The implications of our findings extend beyond the immediate campus environment. By implementing comprehensive sustainability strategies, universities have the potential to influence broader societal shifts towards sustainable development. Graduates exposed to sustainable practices and education are likely to carry these values and skills into their future careers and communities, amplifying the impact of campus initiatives.

Nevertheless, challenges remain. The varying degrees of progress across different sustainability criteria suggest that some areas, such as waste management and sustainable transportation, may require more focused attention and innovative solutions. Additionally, the need for long-term commitment and investment in sustainability initiatives may pose challenges for institutions facing resource constraints.

Looking ahead, there is a clear need for continued research and innovation in campus sustainability. Longitudinal studies tracking the long-term impacts of these initiatives on student behaviour and societal outcomes would provide valuable insights. Furthermore, as the landscape of higher education evolves, particularly with the growth of online and hybrid learning models, new approaches to sustainability in virtual educational environments will need to be explored.

In conclusion, our study affirms the necessity and positive impact of sustainable green campus practices in universities. These initiatives not only contribute to environmental conservation but also play a crucial role in shaping the values, knowledge, and skills of future generations. As we face growing global sustainability challenges, the role of universities in fostering environmental stewardship and innovation becomes increasingly vital. By continuing to invest in and improve sustainable campus practices, universities can lead by

example, driving positive change within their institutions and beyond.

The journey towards truly sustainable campuses is ongoing, requiring continued commitment, innovation, and collaboration. However, the progress demonstrated by the universities in this study provides a strong foundation and inspiration for further advancements in campus sustainability. As centres of knowledge and innovation, universities are uniquely positioned to spearhead the transition to a more sustainable future, making the continued pursuit and refinement of sustainable green campus practices not just beneficial, but essential.

REFERENCES

- Abo-Khalil, A.G. (2024). Integrating sustainability into higher education challenges and opportunities for universities worldwide. *Heliyon*, *10*(9), e29946.
- Amaral, A.R., Rodrigues, E., Gaspar, A.R. & Gomes, Á. (2020). A review of empirical data of sustainability initiatives in university campus operations. *Journal of Cleaner Production*, *250*, 119558.
- Balsas, C.J.L. (2003). Sustainable transportation planning on college campuses. *Transport Policy*, *10*(1), 35-49.
- Bowen, G.A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, *9*(2), 27-40.
- Browning, M. & Rigolon, A. (2019). School green space and its impact on academic performance: A systematic literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* *16*(3), 1-22.
- Brundiars, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., . . . Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education-toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, *16*, 13-29.
- Denmark Climate & Clean Air Coalition. (n.d.). (2024). Retrieved from <https://www.ccacoalition.org/partners/denmark#:~:text=Denmark%20has%20ensured%20ambitious%20climate,by%202050%20at%20the%20latest>.
- Dlouhá, J., Henderson, L., Kapitulčinová, D. & Mader, C. (2018). Sustainability-oriented higher education networks: Characteristics and achievements in the context of the UN DESD. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 4263-4276.
- Ebrahimi, K. & North, L. (2017). Effective strategies for enhancing waste management at university campuses. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *18*(7), 1123-1141.
- Esser, F. & Vliegenthart, R. (2017). Comparative research methods, In: Matthes C. S. D. & Potter R. F. (Eds.), *The international encyclopaedia of communication research methods*, 1-22p, Wiley-Blackwell, USA.
- Ferrer-Balas, D., Lozano, R., Huisingh, D., Buckland, H., Ysern, P. & Zilahy, G. (2010). Going beyond the rhetoric: system-wide changes in universities for sustainable societies. *Journal of Cleaner Production*, *18*, 607-610.
- Findler, F., Schönherr, N., Lozano, R., Reider, D. & Martinuzzi, A. (2019). The impacts of higher education institutions on sustainable development: A review and conceptualization. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, *20*(1), 23-38.
- Fors, H., Hagemann, F.A., Sang, Å.O. & Randrup, T.B. (2021). Striving for inclusion-a systematic review of long-term participation in strategic management of urban green spaces. *Frontiers in Sustainable Cities*, *3*, 1-27.
- Giesenbauer, B. & Müller-Christ, G. (2020). University 4.0: Promoting the transformation of higher education institutions toward sustainable development. *Sustainability*, *12*(8), 1-27, 3371.
- Greenmetrics SUSTAINABLE CAMPUS. (2024). Retrieved from <https://sustainablecampus.metu.edu.tr/en/greenmetrics>
- Kiraz, M. (2018). *Sustainable water and stormwater management for Metu campus*. (Master's Degree). Institute of Science and Technology. Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, 248s.
- Krippendorff, K. (2019). *Content analysis: An introduction to its methodology* 4th ed., SAGE Publications, 472p.
- Leal Filho, W., Wall, T., Rayman-Bacchus, L., Mifsud, M., Pritchard, D. J., Lovren, V. O., . . . Balogun, A. L. (2021). Impacts of COVID-19 and social isolation on academic staff and students at universities: A cross-sectional study. *BMC Public Health*, *21*(1), 1213.
- Leal Filho, W., Wall, T., Salvia, A. L., Frankenberger, F., Hindley, A., Mifsud, M., . . . Will, M. (2021). Trends in scientific publishing on sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, *296*, 126569.
- Pandya, C., Prajapati, S., & Gupta, R. (2022). Sustainable energy efficient green campuses: A systematic literature review and bibliometric analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1084*(1), 012016.
- Poulsen, T. R., Olsen, R. L., Korsgaard, P., & Kongsted, L. H. (2023). *University of Copenhagen climate account 2022*. Retrieved from https://sustainability2030.ku.dk/pdf/UCPH_Climate_Account_2022.pdf, 33p.
- Republic of Turkey Ministry of Forestry and Water Affairs. (2023). *National Strategy and Action Plan to Combat Desertification*. Retrieved from Ankara: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/cem-stj-eylem-bros-ing-20211108095837.pdf>
- Sonetti, G., Barioglio, C. & Campobenedetto, D. (2020). Education for sustainability in practice: A review of current strategies within Italian universities. *Sustainability*, *12*(13), 1-23.
- Trencher, G., Bai, X., Evans, J., McCormick, K. & Yarime, M. (2014). University partnerships for co-designing and co-producing urban sustainability. *Global Environmental Change*, *28*, 153-165.
- UI Green Metric. (2022). Retrieved from <https://greenmetric.ui.ac.id/>
- University of Nottingham. (2022). *Towards a fairer world*. Retrieved from United Kingdom: <https://www.nottingham.ac.uk/sustainable-development-goals/documents/university-of-nottingham-un-sustainable-development-goals-report.pdf>, 37p.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* 6th ed., United States: Cosmos Corporation, 352p.



Marmara Denizi'nde Doğal Ortamdan ve Yetiştiricilik Tesislerinden Toplanan Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Dokularında İz Elementlerin Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Tolga AKDEMİR*

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 53100, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 11.10.2024

Kabul Tarihi: 02.01.2025

Basım Tarihi: 31.01.2025

Atıf yapmak için: Akdemir, T. (2025). Marmara Denizi'nde doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden toplanan Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) dokularında iz elementlerin konsantrasyonlarının karşılaştırılması. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(1), 25-33. <https://doi.org/10.35229/jaes.1565128>

How to cite: Akdemir, T. (2025). Comparison of trace element concentrations in tissues of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) collected from natural environment and aquaculture facilities in the sea of Marmara. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(1), 25-33. <https://doi.org/10.35229/jaes.1565128>

<https://orcid.org/0000-0001-8994-6406>

***Sorumlu yazarın:**

Tolga AKDEMİR
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik
Bilimler Meslek Yüksekokulu, 53100, Rize,
Türkiye
✉: tolga.akdemir@erdogan.edu.tr

Öz: Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*), son yıllarda tüketimi gittikçe artan çevresel, ekonomik ve ekolojik açıdan önemli bir türdür. Bununla birlikte çeşitli kirleticilerin etkisi altında olduğu bilinen Marmara Denizi, bu türün hem yetiştiriciliğinin yapıldığı hem de doğal olarak elde edilebildiği önemli bir iç denizimizdir. Bu çalışma kapsamında Marmara Denizi'nde iki farklı bölgeden örneklenen Akdeniz midyelerinin yumuşak dokularında Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi ile ölçülmüştür. Bulgular bazı iz elementlerin konsantrasyonlarının Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen limit değerlerin üzerinde olduğunu ve arındırma sürecinin önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak kirleticileri bünyesinde biriktirme eğiliminde olan bu türün ister yetiştiricilik yoluyla ister avlama yoluyla elde edilsin, önemli bir besin kaynağı olarak insan sağlığı açısından çeşitli riskler taşıyabileceği ortaya koyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Akdeniz midyesi, ağır metal, midye yetiştiriciliği.

Comparison of Trace Element Concentrations in Tissues of Mediterranean Mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Collected from Natural Environment and Aquaculture Facilities in the Sea of Marmara

***Corresponding author's:**

Tolga AKDEMİR
Recep Tayyip Erdoğan University, Technical
Sciences Vocational School, 53100, Rize,
Türkiye
✉: tolga.akdemir@erdogan.edu.tr

Abstract: Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) is an environmentally, economically and ecologically important species whose consumption has been increasing in recent years. However, the Marmara Sea, which is known to be under the influence of various pollutants, is an important inland sea where this species is both cultivated and can be obtained naturally. In this study, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels sampled from two different regions of the Marmara Sea were measured by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy. The results show that the concentrations of some trace elements are above the limit values set by the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry (2002) and reveal the importance of the decontamination process. As a result, it has been revealed that this species, which tends to accumulate pollutants, may carry various risks for human health as an important food source, whether it is obtained through aquaculture or fishing.

Keywords: Mediterranean mussel, heavy metal, mussel farming.

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler'in 2024 Dünya Nüfus Raporu'nda belirtildiği üzere, küresel nüfusun 2050 yılında 10,5 milyara ulaşabileceği öngörülmektedir (BM 2024). Hızlı nüfus artışı nedeniyle besin ihtiyacı tüm dünyada giderek artmaktadır. Su ürünlerinin bütününün dünya

genelinde gıda arzında önemli bir kaynak olduğu bilinmektedir. Kıyı bölgelerinde avlanmakta ve yetiştirilmekte olan yumuşakçalar bu besin ihtiyacının giderilmesinde her geçen yıl daha da artan bir öneme sahiptirler. Diğer protein kaynakları ve diğer deniz ürünleri ile kıyaslandığında yumuşakçalar daha sürdürülebilir ve verimli üretim süreçlerine sahiptirler. Ülkemizde

yetiştiriciliği yapılan çift kabuklu yumuşakça türlerinin başında *Mytilus galloprovincialis* (mavi midye veya Akdeniz midyesi) gelmektedir.

Mytilus galloprovincialis, Akdeniz, Karadeniz ve Adriyatik Denizi kıyıları boyunca dağılım gösteren ve neredeyse tüm ılıman bölgeleri ve büyük nakliye limanlarını kapsayacak şekilde dünya genelinde çok çeşitli habitatlarda başarılı bir şekilde kolonileşmeyi başarmış bir türdür (Branch and Stephanni, 2004). Akdeniz midyesi proteince zengin yapısı ve sağlıklı doymamış yağ asitleri ile tüketilebilir su ürünleri arasında önemli bir yere sahiptir. Akdeniz midyesi deniz suyundan organik partikülleri filtreleyerek beslendikleri için biyolojik ve kimyasal kirlenmeleri dokularında biriktirme riski taşırlar (Bayne vd., 1976; Alpbaz, 1993; Çolakoğlu vd., 2003; Çolakoğlu vd., 2010) ve bu özellikleriyle dünyada kıyı sularının kalitesinin takibi için biyolojik indikatör olarak kullanılmaktadır (Bat vd., 1999; Balcıoğlu ve Gönülal, 2017).

Son yıllarda ülkemizde Akdeniz midyesi ekonomik ve gastronomik anlamda ciddi şekilde değerlendirilmektedir. Akdeniz midyesine özel olarak açılan restoran zincirleri yanı sıra bu türün taze ya da pişmiş şekilde tezgâhta sürekli yer bulduğu satış noktaları hatta zincir mağaza ağları dahi oluşmuştur. İhracat ve doğrudan tüketim ürünü olarak talep ve arz dengesinin sağlanması amacıyla devlet tarafından bu türün yetiştiriciliği için de önemli destekler verilmektedir. Akdeniz midyesinin 2023 yılı üretim miktarı bir önceki yıla göre %21,6 azalarak 2526,7 ton olarak kayıtlara geçse de diğer deniz ürünleri üretimindeki %0,7 yükselerek payı %7,6'ya yükselmiştir (TUIK 2024).

Ayrıca *Mytilus galloprovincialis* türü hem ekolojik hem de bilimsel olarak da büyük önem arz etmektedir. Besin zincirinin hayati bir bileşeni olma rolünün yanı sıra, deniz suyunun filtrelenmesi, diğer deniz canlılarına habitat sağlanması ve denizel erozyonun önlenmesi de dahil olmak üzere bir dizi temel 'ekolojik işlev' aracılığıyla deniz ekosistemlerinin sağlığının korunmasında da etkili bir rol oynamaktadır. Akdeniz midyesi yine deniz kirliliği, kalıtım-evrim ve ekosistem modelleme gibi çalışmalar içinde biyo-indikatör tür olarak kullanılmaktadır (Bat vd., 1999; Kroeker vd., 2014; Štambuk vd., 2013; Veiga vd., 2020)

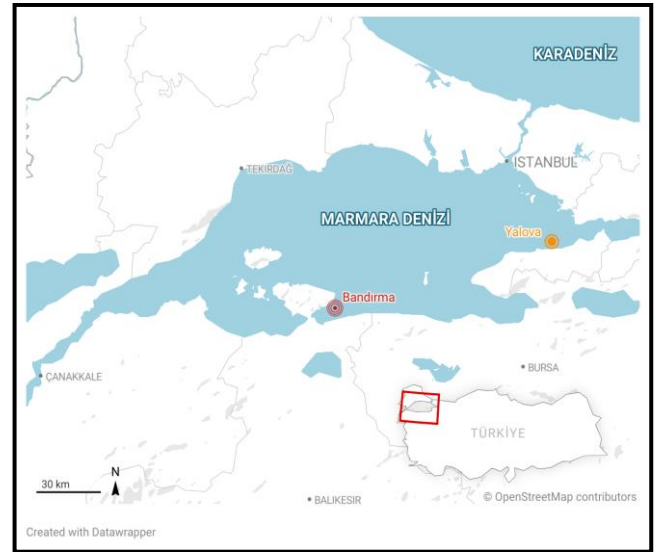
Tüm bu ekonomik ve ekolojik değerine rağmen Akdeniz midyesi gibi deniz ürünleri tüketici sağlığı açısından risk teşkil edebilecek ağır metallerin kaynağı olabilirler (US EPA 2000; EFSA 2012; Turanlı & Gedik, 2021). Ağır metaller biyolojik olarak parçalanmazlar, bu özellikleri ile hem çevrede birikme eğilimindedirler hem de canlı organizmalar üzerinde toksik etkilere sahiptirler (Matta vd., 1999) üstelik canlı dokularda birikerek potansiyel olarak besin zincirinin üst seviyelerine kadar ulaşabilirler (Wang & Ren, 2014).

Bu çalışmanın temel amacı doğal ortamından ve yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerden toplanan Akdeniz

midyesi yumuşak dokularında Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) iz elementlerin miktarının belirlenerek karşılaştırılması ve aralarındaki farkların belirlenmesidir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma materyali ve çalışma sahası: Çalışma materyalini Akdeniz midyesi oluşturmaktadır. Örnekleme bölgesi olarak türün hem doğal ortamdan toplanabildiği hem de yetiştiriciliğinin yapıldığı Marmara Denizi Bandırma ve Yalova kıyıları tercih edilmiştir (Şekil 1). Yalova istasyonundan alınan örnekler doğal ortamdan toplanırken, Bandırma istasyonundan toplanan örnekler ise türün yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı bir bölgede yetiştiricilik tesisinden alınmıştır. Akdeniz midyesi örnekleri hem doğal ortamından hem de yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgeden Temmuz, 2021 tarihinde, dalgıç marifeti ile SCUBA dalış yöntemi ile toplanmıştır. Örneklerde boy ölçümü yapılmış ve bireyler 4 gruba ayrılmıştır. Minimum pazar boyu 56 mm referans alınarak (Lök vd., 2007), 56 mm ve üzeri bireyler 'XL', 55 mm-47 mm 'L', 46 mm-30 mm 'M' ve 29 mm ile 18 mm arası olan bireyler 'S' olarak sınıflandırılmıştır. Her boy grubundan 12 toplamda 96 birey kullanılmıştır.



Şekil 1. Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) örnekleme sahası.

Figure 1. Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) sampling site.

Örneklerin Parçalanması: Örneklerin boyları ölçüldükten hemen sonra, yumuşak dokular doku diseksiyonu ile çıkarılmıştır. Belirli boy gruplarına ait bireylere ait çıkarılan dokular ayrı ayrı homojenize edilmiş ve her birinden yaklaşık 2,5 g (taze ağırlık) örnek 5 mL HNO₃ (%65 Suprapur, Merck) içeren farklı sindirim tüplerine yerleştirilmiş ve tüpler polipropilen kapaklarla kapatılarak bir gece bekletilmiştir. Tüpler daha sonra bir blok ısıtıcıya (Velp, İtalya) aktarılmış ve 2,5 saat boyunca

95±3 °C'de (çözelti sıcaklığı) inkübe edilmiştir. Daha sonra, tüplerin oda sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır ve 2,5 mL ekstra H₂O₂ (%30 Suprapur, Merck) ile 2 saat daha 95±3 °C'de inkübe edilmeye devam edilmiştir. Kapaklar çıkarılmış ve tüpler çözelti hacimleri yaklaşık 2 mL olana kadar blok ısıtıcıda tutulmuştur. Son olarak, çözelti ultra saf su ile 50 mL'ye seyreltilmiş ve politetrafloroetilen, 0,45-µm gözenek boyutlu şırınga filtresinden (US EPA 1996) süzülüp, ardından analizlere kadar +4 °C'de saklanmıştır (Turanlı & Gedik, 2021).

İz elementlerin belirlenmesi ve Kalite Kontrol:

Örneklerden Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak ölçülmüştür. Kalite kontrolü için boş numuneler kullanılmış ve analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sindirim işlemlerini kontrol etmek ve denetlemek için numunelere uygulanan yöntemin aynı sertifikalı referans malzemeye de (ERM-BB422 Balık Doku) uygulanmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve ardından işlemin doğruluğu belirlenmiştir. ERM-BB422 Balık Doku, Avrupa Komisyonu, Avrupa Referans Malzemeleri, içeriğinde bulunan metaller için geri kazanım oranı %95,17-%107,34 aralığında bulunmuştur. Birimler ıslak ağırlık olarak mg/kg olarak verilmiştir.

Sağlık riski değerlendirilmesi

Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI):

Gıdalardaki metallere maruziyetin insan sağlığı üzerindeki etkileri, Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI) kullanılarak değerlendirilmektedir. EDI, metallerin konsantrasyonu, günlük tüketim miktarı, maruziyet sıklığı ve süresi dikkate alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanır (Traina vd., 2019):

$$EDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Burada C, metal konsantrasyonunu; IR, günlük tüketim miktarını (0,020 kg/gün); EF, maruziyet sıklığını (365 gün/yıl); ED, yıl cinsinden maruziyet süresini (70 yıl); BW, vücut ağırlığını (70 kg); AT ise ortalama maruziyet süresini ifade eder (365 gün/yıl × ED) (Ezemonye vd., 2019; Varol vd., 2017; Mol vd., 2017).

Kanserojen olmayan sağlık riski değerlendirilmesi:

Hedef Tehlike Katsayısı (THQ), kirleticilere maruziyetten kaynaklanabilecek kanserojen olmayan sağlık risklerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu metodoloji, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından onaylanmıştır (US EPA 2011a). THQ, belirli bir kimyasal maddeye maruziyetin referans doz (RfD) ile karşılaştırılması yoluyla hesaplanır ve olası sağlık risklerini belirlemede kullanılır.

$$THQ = \frac{EDI}{RfD}$$

Burada, THQ hedef tehlike katsayısını, EDI tahmini günlük alım miktarını ve RfD referans dozu ifade

etmektedir. Oral referans doz (RfD) değerleri mg/kg/gün cinsinden verilmiştir ve Cd: 0.001, Cr: 0.003, Cu: 0.04, Ni: 0.02, Pb: 0.0035, Zn: 0.3 şeklindedir. THQ < 1.0 durumunda Olası olumsuz bir sağlık etkisi beklenmezken; THQ ≥ 1.0 değeri potansiyel bir olumsuz sağlık etkisinin varlığına işaret eder (Yin vd., 2020).

Kanserojen sağlık riski değerlendirilmesi:

Kanserojen risk hesaplaması, bir metalin uzun vadede kanser gelişimine neden olma potansiyelini değerlendirmek için kullanılır. Akdeniz midyesi gibi deniz ürünleri, çevresel kirlilik nedeniyle ağır metaller ve diğer kanserojen maddeler içerebilir. Bu risk, tüketim miktarına ve metal konsantrasyonlarına bağlı olarak değişir ve bu riski değerlendirmek için kullanılan formül aşağıda tanımlanmıştır (Zeng vd., 2015; US EPA 2011b):

$$CRI = EDI \times CSF$$

Burada EDI beklenen günlük ağır metal alımını ifade eder. CSF (Slope Factor - Eğim Faktörü), Entegre Risk Bilgi Sistemi veri tabanından alınmıştır (Traina vd., 2019). CSF değerleri mg/kg/gün olarak ifade edilmiştir ve Cd: 6.3, Cr: 0.041, Ni:0.0017 ve Pb 0.0085 şeklindedir (Wahiduzzaman vd., 2022). Kanserojen Risk İndeksi (CRI), CRI < 10⁻⁶: İhmal edilebilir risk, 10⁻⁶ < CRI < 10⁻⁴: Kabul edilebilir veya katlanılabilir risk ve CRI > 10⁻⁴: Önemli derecede risk olarak sınıflandırılmıştır (Mutlu, 2024). Ayrıca tüm elementler için kronik maruziyet riskini değerlendirmek için günlük tolere edilebilir alım miktarı (TDI) ile kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. TDI değerleri mg/kg/gün olarak ifade edilmiştir ve Cd: 0.0008, Cr: 0,3, Cu: 0,5, Ni: 0,012, Pb: 0,0015 ve Zn: 0,3 şeklindedir (Varol & Sünbül, 2018).**İstatistiksel analizler:** Veri setinin istatistiksel analizi ve grafikler Origin(Pro), 2024b. OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı istasyonlardan elde edilen aynı boy grubuna ait bireylerin iz element konsantrasyonlarını karşılaştırmak için bağımsız iki örneklem t-testi gerçekleştirilmiştir. Aynı istasyondan elde edilen tüm boy gruplarına ait bireylerin iz element konsantrasyonlarını karşılaştırarak değerlendirmek için ise yine tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve TUKEY testi kullanılmıştır ve anlamlılık düzeyi p<0,05 olarak belirlenmiştir.

BULGULAR

Hem Yalova istasyonunda (doğal ortamdan) hem de Bandırma istasyonundan (yetiştiricilik tesislerinden) toplanan örneklerde iz element konsantrasyonları Cd için 0,05-0,19 mg/kg, Cr için 0,51-1,15 mg/kg, Cu için 0,77-2,04 mg/kg, Ni için 0,27-1,49 mg/kg, Pb için 0,19-0,40 mg/kg ve Zn için 19,27-51,68 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Ölçülen değerlere ait detaylar Tablo 1'de ve Şekil 2'de verilmiştir.

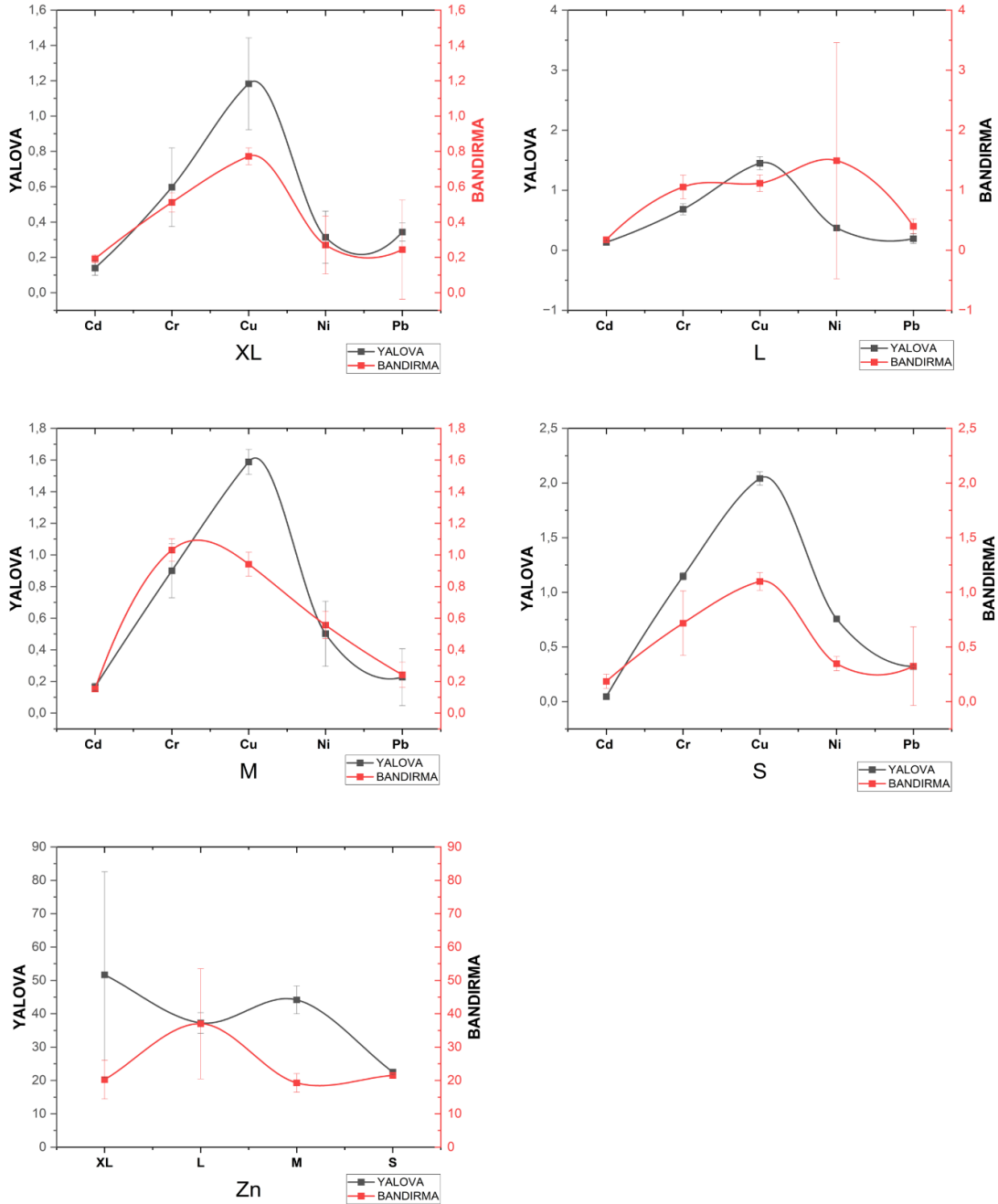
Tablo 1. Doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden örneklenen Akdeniz midyesinin (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) yumuşak dokusularındaki metal konsantrasyonları (ortalama $\pm$ standart hata; mg L⁻¹)

Table 1. Metal concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) sampled from the natural environment

İz elenemler	YALOVA				BANDIRMA			
	XL	L	M	S	XL	L	M	S
Cd	0,14 $\pm$ 0,04Aa	0,13 $\pm$ 0,02Ba	0,17 $\pm$ 0,02Ba	0,05 $\pm$ 0,00Ca	0,19 $\pm$ 0,02b	0,18 $\pm$ 0,03b	0,15 $\pm$ 0,02b	0,19 $\pm$ 0,07b
Cr	0,60 $\pm$ 0,22Aa	0,68 $\pm$ 0,09Ba	0,90 $\pm$ 0,17Ba	1,15 $\pm$ 0,03Ca	0,51 $\pm$ 0,05Ab	1,05 $\pm$ 0,20Bb	1,03 $\pm$ 0,07Cb	0,72 $\pm$ 0,29Db
Cu	1,18 $\pm$ 0,26Aa	1,45 $\pm$ 0,11Ba	1,59 $\pm$ 0,08Ba	2,04 $\pm$ 0,06Ca	0,77 $\pm$ 0,05Ab	1,12 $\pm$ 0,14Bb	0,94 $\pm$ 0,08Cb	1,10 $\pm$ 0,08Db
Ni	0,31 $\pm$ 0,15A	0,37 $\pm$ 0,03Ba	0,50 $\pm$ 0,21B	0,76 $\pm$ 0,02Ca	0,27 $\pm$ 0,16	1,49 $\pm$ 1,97b	0,56 $\pm$ 0,09	0,35 $\pm$ 0,07b
Pb	0,34 $\pm$ 0,05	0,19 $\pm$ 0,08a	0,23 $\pm$ 0,18	0,32 $\pm$ 0,01	0,24 $\pm$ 0,28	0,40 $\pm$ 0,12b	0,24 $\pm$ 0,08	0,32 $\pm$ 0,36
Zn	51,68 $\pm$ 30,88a	37,25 $\pm$ 3,09	44,17 $\pm$ 4,18a	22,52 $\pm$ 0,68a	20,24 $\pm$ 5,79b	36,99 $\pm$ 16,52	19,27 $\pm$ 2,79b	21,52 $\pm$ 0,47b

*Büyük harfler aynı istasyondan elde edilen örnekler için boy grupları arasındaki istatistiksel farkı ortaya koyarken küçük harfler farklı iki istasyondan elde edilen örnekler için aynı boy grupları arasındaki istatistiksel farkı ifade eder (p<0.05).

*Uppercase letters indicate the statistical difference between height groups for samples obtained from the same station, while lowercase letters indicate the statistical difference between the same height groups for samples obtained from two different stations (p<0.05).



Şekil 2. Doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden örneklenen Akdeniz midyesinin (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) yumuşak dokularında metal konsantrasyonlarının boy gruplarına göre dağılımı (mg kg⁻¹)

Figure 2. Distribution of metal concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) sampled from natural environment and aquaculture facilities according to size groups (mg kg⁻¹)

Daha önceki çalışmalarda kirli kıyı bölgelerinden alınan midye örneklerinin, temiz bölgelerden alınan midye örneklerine göre dokularında daha fazla miktarda metal biriktiği tespit edilmiştir (Guendouzi et al. 2020; Yuan et al. 2020; Bajt et al. 2019). Metallerin insanlar için toksik etki düzeyleri $Co < Al < Cr < Pb < Ni < Zn < Cu < Cd < Hg$ şeklinde sıralanmaktadır (Mansourri & Madani, 2016). Elde ettiğimiz bulgulara göre Cd değeri en yüksek 0,19 mg/kg olarak S ve XL boy gruplarındaki Bandırma örneklerinde tespit edilmiştir. Bu değer Yalova örneklerinde ise en yüksek 0,17 mg/kg olarak M boy grubunda ölçülmüştür. Bu bilgiler ışığında tüm boy grupları için Cd konsantrasyonlarında yetiştiricilik tesisleri ve doğal ortamdan toplanan örnekler arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda araştırmacılar, Bandırma için Cd değerini ortalama 0.227 ± 0.093 mg/kg olarak (Doğruyol vd., 2024) ve Yalova için farklı istasyonlarda 0,11 ile 0,19 mg/kg arasında değiştiğini (Acarlı vd., 2023) rapor etmişlerdir. Elde edilen ölçümler bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu görünmektedir. Peycheva vd. (2021) Karadeniz’de yaptıkları çalışmalarında yetiştiricilik tesislerinden elde ettikleri örneklerde Cd seviyesini doğal ortamdan toplanan örneklerden daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum da bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu görünmektedir. Kabuklu deniz ürünlerinde bulunması muhtemel metallerin gıdalarda kabul edilebilir maksimum seviyeleri Avrupa Komisyonu (EC) No 2023/915 düzenlemeleri ile belirlenmiştir ve Cd için limit değer 1,00 mg/kg’dır (Avrupa Komisyonu, 2023). Bu çalışmada her iki istasyondan toplanan örneklerden ölçülen değerler Avrupa komisyonu tarafından belirlenen limit değerlerin altındadır. Arındırılmamış hali ile ölçülen bu değer Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 0,1 mg/kg limit değerlerin ise üzerindedir. Çocuklarda Cd kronik toksisitesi, solunum, böbrek, iskelet ve kardiyovasküler sistemlerde hasarın yanı sıra akciğer, böbrek, prostat ve mide kanseri gelişme riskinde artış da dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkiyi kapsamaktadır (US EPA, 2010; WHO, 2011). İnsanlarda Cd maruziyetinin başlıca kaynakları kontamine gıdaların tüketilmesi, sigara-tütün kullanımı ve metal endüstrilerinde (Cd ile kirlenmiş) işyerlerinde mesleki maruziyettir (Paschal vd., 2000). Hızlı kentleşmenin getirdiği yük ile evsel atıklar, denizcilik, otomotiv ve kimya endüstrisi gibi sanayi kuruluşları ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitlerin denizel ortama taşınması bölgedeki kirliliğin muhtemel en önemli kaynakları arasındadır.

Cr için en yüksek değer S boy grubunda, 1,15 mg/kg ile Yalova istasyonundan elde edilen örneklerden ölçülmüştür. Bandırma istasyonunda ölçülen değer ise L

boy grubunda 1.05 mg/kg’dır. Tüm boy grupları için Cr konsantrasyonlarında istasyonlar arasında önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Belivermiş vd. (2016) Karamürsel (Yalova yakınları) ve Bandırma istasyonlarında kuru ağırlık bazında Cr konsantrasyonlarını sırasıyla 1,06 ile 2,12 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Guendouzi vd. (2024) tarafından Cr midye tüketiminde (< 2 kg/gün) sınırlayıcı metal olarak kabul edilmiştir. Cr, metalurji, elektro-kaplama ve boya, pigment, koruyucu, kağıt hamuru ve kağıt üretimi dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel ve imalat süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir (Jaishankar vd., 2014). Potansiyel kaynaklar tek tek ve ayrıntılı olarak ele alındığında bölgedeki kirlilik hakkında fikir vermektedir.

Cu için en yüksek değer S boy grubunda, 2,04 mg/kg ile Yalova örneklerinde ölçülürken, Bandırma istasyonunda en yüksek değer L boy grubunda 1,12 mg/kg olarak ölçülmüştür. Tüm boy grupları için istasyonlar arasında Cu konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Cu, insan vücudu için esansiyel bir iz element olup biyokimyasal süreçlerde önemli rol oynar. Akdeniz midyesinin tüketimi yoluyla insan vücuduna alınan Cu, kanserojen olarak kabul edilmemekle birlikte aşırı miktarda alındığında toksik etkiler gösterebilir (Gorell vd. 1997; Baltas vd. 2016). Yalova özelinde gerçekleştirilen çalışmalarda Acarlı vd. (2023) en yüksek Cu düzeyini *M. Galloprovincialis* için 0.99 ± 0.05 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Belivermiş vd. (2016) ise Bandırma bölgesinde 89.4 mg/kg (kuru ağırlık) olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ölçülen değerler Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 20 mg/kg limit değerinin oldukça altındadır.

Ni için en yüksek değer L boy grubunda, 1,49 mg/kg ile Bandırma örneklerinde ölçülürken, Yalova istasyonunda en yüksek değer S boy grubunda 0,76 mg/kg olarak ölçülmüştür. L ve S boy grubu özelinde istasyonlar arasında Ni konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Pb için en yüksek değer L boy grubunda, 0,40 mg/kg ile Bandırma örneklerinde ölçülürken, Yalova istasyonunda en yüksek değer XL boy grubunda 0,34 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sadece L boy grubu için Pb konsantrasyonlarında istasyonlar arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Bandırma için Pb değerini ortalama 0.096 ± 0.028 mg/kg olarak (Doğruyol vd., 2024) ve Yalova için farklı istasyonlarda 0.11–0.72 mg/kg arasında değiştiğini (Acarlı vd., 2023) rapor etmişlerdir. Bu çalışmada ölçülen değerler Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 1 mg/kg limit değerinin altındadır.

Zn 51,68 mg/kg ile XL boyda ve Yalova örneklerinde daha yüksek çıkarken Bandırma örneklerinde

XL ve L boylarda sırasıyla 20,24 mg/kg ve 36,99 mg/kg olarak ölçülmüştür. L boy grubu hariç tüm boy grupları için istasyonlar arasında Zn konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$ olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada ölçülen değerler Bandırma için Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 50 mg/kg limit değerinin altındadır. Buna karşılık Yalova istasyonunda ve XL boyda tespit edilen değer dikkate alındığında herhangi bir şekilde arındırma işlemine tabi tutulmayan, doğal ortamdan toplanan midyelerin doğrudan tüketilmesi durumunda insan sağlığı için risk taşıyabileceğini göz önüne sermektedir.

Öte yandan boy grupları ile midye dokularındaki metal konsantrasyonları arasında bir ilişki olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bazı araştırmacılar küçük boyutlu midyelerde metal konsantrasyonlarının

daha yoğun olduğundan bahsetmişlerdir (Mubiana vd., 2006; Yap vd., 2009; Turanlı & Gedik, 2021). Bu çalışmada Cu ve Cr için küçük boylarda konsantrasyonun daha yüksek olduğu ve boy büyüdükçe konsantrasyonun azaldığı şeklinde bir trend izleniyor olsa da diğer metaller için sabit bir trend söz konusu değildir. Mevcut örnek sayısı ile yapılacak bir regresyon analizi yanıltıcı olacaktır. Bu bölge açısından böyle bir çıkarım yapmak için daha fazla örneğin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Sağlık riski değerlendirmesi, belirlenen maruz kalma süreleri boyunca hem kanserojen hem de kanserojen olmayan riskleri dikkate alarak kirleticilere maruz kalmanın insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlı etkilerini analiz etmek için kullanılan metodik bir prosedürdür. Tablo 2'de hem Yalova hem de Bandırma istasyonları için sağlık riski değerlendirmelerine ilişkin veriler sunulmaktadır.

Tablo 2. Akdeniz midyesi'nde metaller için, Tahmini günlük alım miktarı (EDI), hedef tehlike katsayısı (THQ), kanserojen risk (CRi) ve günlük tolere edilebilir alım miktarı (TDI) değerleri (mg/kg/gün).

İz elementler	YALOVA												
	XL			L			M			S			
	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	TDI
Cd	3,99E-05	0,040	2,51E-04	3,80E-05	0,0380	2,39E-04	4,73E-05	0,0473	2,98E-04	1,31E-05	0,0131	8,26E-05	8,00E-04
Cr	1,71E-04	0,057	7,00E-06	1,95E-04	0,0652	8,01E-06	2,57E-04	0,0857	1,05E-05	3,28E-04	0,1092	1,34E-05	3,00E-01
Cu	3,38E-04	0,008	4,14E-04	0,0104	4,54E-04	0,0113	4,54E-04	0,0113	5,83E-04	0,0146	5,83E-04	0,0146	5,00E-01
Ni	8,97E-05	0,004	1,53E-07	1,06E-04	0,0053	1,81E-07	1,43E-04	0,0072	2,44E-07	2,16E-04	0,0108	3,68E-07	1,20E-02
Pb	9,81E-05	0,028	8,34E-07	5,54E-05	0,0158	4,71E-07	6,47E-05	0,0185	5,50E-07	9,17E-05	0,0262	7,80E-07	1,50E-03
Zn	1,48E-02	0,049	1,06E-02	0,0355	1,26E-02	0,0421	1,26E-02	0,0421	6,44E-03	0,0215	6,44E-03	0,0215	3,00E-01
İz elementler	BANDIRMA												
	XL			L			M			S			
	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	TDI
Cd	5,48E-05	0,055	3,45E-04	5,03E-05	0,0503	3,17E-04	4,36E-05	0,0436	2,74E-04	5,29E-05	0,0529	3,33E-04	8,00E-04
Cr	1,46E-04	0,049	5,99E-06	3,01E-04	0,1004	1,23E-05	2,95E-04	0,0982	1,21E-05	2,05E-04	0,0683	8,41E-06	3,00E-01
Cu	2,21E-04	0,006	3,19E-04	0,0080	2,69E-04	0,0067	2,69E-04	0,0067	3,14E-04	0,0079	3,14E-04	0,0079	5,00E-01
Ni	7,71E-05	0,004	1,31E-07	4,26E-04	0,0213	7,25E-07	1,59E-04	0,0080	2,70E-07	9,92E-05	0,0050	1,69E-07	1,20E-02
Pb	6,97E-05	0,020	5,93E-07	1,15E-04	0,0327	9,74E-07	6,92E-05	0,0198	5,88E-07	9,26E-05	0,0265	7,87E-07	1,50E-03
Zn	5,78E-03	0,019	1,06E-02	0,0352	5,51E-03	0,0184	5,51E-03	0,0184	6,15E-03	0,0205	6,15E-03	0,0205	3,00E-01

Genel olarak, her metal için hesaplanan EDI değerlerinin TDI değerlerinin altında olduğu THQ değerlerinin 1'den küçük olduğu ve CRi değerlerinin kabul edilebilir risk teşkil ettiği gözlemlendi. Bu durum, her iki istasyonda da bu metallerin kabul edilen dozlarda günlük alımının halk sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmadığı anlamına gelir.

Ayrıca metallerin antropojenik kaynakların yanı sıra jeojenik kaynaklardan geldiği de bilinmektedir (Bradl, 2005). Marmara Denizi'nin güney kıyısı, maden yataklarının kaynağı olarak tanımlanan kendine özgü bir jeolojik yapıdadır. Pb (kurşun), Zn (çinko), Cu (bakır), Mo (molibden) ve As (arsenik) gibi minerallerin yanı sıra Ni (nikel), Co (kobalt) ve Cr (krom) gibi minerallerin yüksek konsantrasyonlarını içeren mineralizasyon bölgeleri ve bir dizi mafik ve ultramafik kayalar bulunmaktadır (Pehlivan, 2017). Fakat bu çalışmada elde edilen veriler ölçülen konsantrasyonların sadece doğal süreçlerle ilişkilendirilemeyeceğini bunun yanı sıra hem doğal ortamdan toplanan hem de yetiştiricilik sahasından alınan Akdeniz midyesi örneklerinde antropojenik kökenli

kirleticilerin etkisinin de bariz şekilde görüldüğünü ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın bulguları, Marmara Denizi'nin Yalova açıklarındaki doğal yaşam alanlarından toplanan midyeler ile Bandırma açıklarındaki kültür bölgelerinden elde edilen midyeler arasında, özellikle farklı boy grupları dikkate alındığında, metal kirleticilerin konsantrasyonlarında önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Doğal ortamdan toplanan midyelerin, çevresel kirleticilerin etkisine atfedilebilecek yüksek ağır metal seviyeleri gösterebileceği ileri sürülebilir. Bu kirliliğin başlıca kaynakları evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların yanı sıra deniz trafiği olduğu düşünülebilir. Buna karşılık, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen kriterlere uygun olarak nispeten kirlenmemiş sularda kontrollü ortamlarda yetiştirilmeleri nedeniyle çiftlik midyeleri yumuşak dokuları genel olarak daha düşük metal

konsantrasyonları içerseler de bu her metal için mutlak geçerli bir durum değildir. Bununla birlikte, yetiştirme ortamlarının kalitesi ve çevresel yönetim uygulamaları metal kirleticilerin seviyelerini etkileyebilir. Bu çalışmanın bulguları ayrıca arındırma sürecinin önemini de ortaya koymaktadır. Yetiştiricilik tesislerinden alınan örnekler özelinde bulgular değerlendirildiğinde arındırma işlemi öncesi ölçülen değerlerin bazı elementler için nihai tüketici için uygun olmadığı görülürken, doğal ortamdan toplanan örneklerin de arındırma süreci olmadığı için tüketilmesinin sağlık riskleri doğuracağı aşıkardır. Sonuç olarak hem doğal hem de çiftlik midyelerinin düzenli olarak izlenmesi ile ilgili çalışmalar ve yetiştiricilik süreçlerinin standartlara uygun ve doğru yönetilmesi, tüketici sağlığının korunması ve çevre kirliliğinin etkilerinin azaltılması ve takip edilebilmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Acarlı, S., Vural, P. & Yıldız, H. (2023). An Assessment of the Cultivation Potential and Suitability for Human Consumption of Mediterranean Mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) from the Yalova Coast of the Marmara Sea. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 9(1), 12-24. DOI: [10.58626/menba.1282775](https://doi.org/10.58626/menba.1282775)
- Alpbaz, A. (1993). *Kabuklu ve Eklem Bacaklılar Yetiştiriciliği Ders Kitabı*. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 26-82.
- Avrupa Komisyonu. (2023). Gıdalardaki Belirli Bulaşanlar için Maksimum Seviyelere ilişkin ve 1881/2006 sayılı Tüzüğü (EC) Yürürlükten Kaldıran 25 Nisan 2023 tarihli ve 2023/915 sayılı Komisyon Tüzüğü (EU). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0915>.
- Balcıoğlu, E.B. & Gönülal, O. (2017). Marmara Denizi' nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Biyometrisi Üzerine Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 397-400. DOI: [10.19113/sdufbed.56809](https://doi.org/10.19113/sdufbed.56809)
- Baltas, H., Dalgic, G., Bayrak, E.Y. et al. (2016). Experimental study on copper uptake capacity in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Environ Sci Pollut Res.*, 23, 10983-10989. DOI: [10.1007/s11356-016-6306-0](https://doi.org/10.1007/s11356-016-6306-0)
- Bat, L., Gündoğdu, A., Öztürk, M. & Öztürk, M. (1999). Copper, zinc, lead and cadmium concentrations in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (L. 1718) from the Sinop coast of the Black Sea. *Turk J Zool.*, 23, 321-326.
- Bajt, O., Ramšak, A., Milun, V., Andral, B., Romanelli, G., Scarpato, A., Mitrić, M., Kupusović, T., Kljajić, Z., Angelidis, M., Ullaj, A. & Galgani, F. (2019). Assessing chemical contamination in the coastal waters of the Adriatic Sea using active mussel biomonitoring with *Mytilus galloprovincialis*. *Mar Pollut Bull.*, 141, 283-298. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.02.007](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.007)
- Bayne, B.L., Widdows, J. & Thompson, R.J. (1976). Physiology: I. In: Bayne, B.L.(ed.). *Marine mussels: Their ecology and physiology*. Cambridge University Press. pp. 122-159.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö. & Çotuk, Y. (2016). Assessment of metal concentrations in indigenous and caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*) on entire Turkish coastline. *Chemosphere*, 144, 1980-1987. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2015.10.098](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.098)
- Bradl, H.B. (2005) Chapter 1 Sources and origins of heavy metals, Editor(s): H.B. Bradl, *Interface science and technology*, Elsevier, 6, 2005, Pages 1-27, ISSN 1573-4285, ISBN 9780120883813, DOI: [10.1016/S1573-4285\(05\)80020-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80020-1)
- Branch, G.M. & Steffani, C.N. (2004). Can we predict the effects of alien species? A case-history of the invasion of South Africa by *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 300, 189-215.
- BM. (2024). "Dünya Nüfus Beklentileri 2024". *Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Beklentileri*. <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>
- Çolakoğlu, F.A., Cardak, M. & Cakır, F. (2003). An investigation on microbiological quality of stuffed mussels sold in Canakkale. *Gıda*, 9, 86-89.
- Çolakoğlu, A.F., Ormancı, B.H., Künili, E.İ. & Çolakoğlu, S. (2010). Chemical and microbiological quality of the *Chamelea gallina* from the Southern Coast of the Marmara Sea in Turkey. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, 16, 153-158.
- Doğruyol, H., Ulusoy, Ş., Erkan, N., Mol, S., Özden, Ö., Tunçelli, İ.C., Tosun Ş.Y., Üçok, D., Dağsuyu, E. & Yanardağ, R. (2024). Evaluation of biotoxins and toxic metal risks in mussels from the Sea of Marmara following marine mucilage, *Food and Chemical Toxicology*, 186, 2024, 114558, ISSN 0278-6915, DOI: [10.1016/j.fct.2024.114558](https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114558)

- EFSA. (2012). Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA J.*, **10**(1), 2551-2537. DOI: [10.2903/j.efsa.2012.2551](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551)
- Ezemonye, L.I., Adebayo, P.O., Enuneku, A.A., Tongo, I. & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*), and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, **6**, 1-9. DOI: [10.1016/j.toxrep.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010)
- Gorell, J.M., Johnson, C.C., Rybicki, B.A., Peterson, E.L., Kortsha, G.X. & Brown, G.G. (1997). Occupational exposures to metals as risk factors for Parkinson's disease. *Neurology*, **48**, 650-658. DOI: [10.1212/WNL.48.3.650](https://doi.org/10.1212/WNL.48.3.650)
- Guendouzi, Y., Soualili, D.L., Fowler, S.W. & Boulahdid, M. (2020). Environmental and human health risk assessment of trace metals in the mussel ecosystem from the Southwestern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, **151**, 110820. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110820](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110820)
- Guendouzi, Y., Benhalima, M., Serbah, I., Fara, M., Fowler, S.W., Boulahdid, M. & Soualili, D.L. (2024). A novel approach to assess temporal baseline levels of trace metal contamination in the mussel *M. galloprovincialis* in the Mediterranean, Marmara and Black Seas. *Marine pollution bulletin*, **202**, 116367. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2024.116367](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116367)
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, **7**(2), 60-72. DOI: [10.2478/intox-2014-0009](https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009)
- Yin, J., Wang, L., Liu, Q., Li, S., Li, J. & Zhang, X. (2020). Metal concentrations in fish from nine lakes of Anhui Province and the health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, **27**, 20117-20124. DOI: [10.1007/s11356-020-08368-1](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08368-1)
- Kroeker, K.J., Gaylord, B., Hill, T.M., Hosfelt, J.D., Miller, S.H. & Sanford, E. (2014). The Role of Temperature in Determining Species' Vulnerability to Ocean Acidification: A Case Study Using *Mytilus galloprovincialis*. *PLoS ONE*, **9**(7): e100353. DOI: [10.1371/journal.pone.0100353](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100353)
- Lök, A., Acarlı, S., Serdar, S., Köse, A. & Yıldız, H. (2007). Growth and mortality of Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819, in relation to size on longline in Mersin Bay, Izmir (Turkey-Aegean Sea). *Aquaculture Research*, **38**, 819-826. DOI: [10.1111/j.1365-2109.2007.01717.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01717.x)
- Mansourri, G. & Madani, M. (2016). Examination of the Level of Heavy Metals in Wastewater of Bandar Abbas Wastewater Treatment Plant. *Open Journal of Ecology*, **6**, 55-61. DOI: [10.4236/oje.2016.62006](https://doi.org/10.4236/oje.2016.62006)
- Matta, J., Milad, M., Manger, R. & Tosteson, T. (1999). Heavy metals, lipid peroxidation, and ciguatera toxicity in the liver of the Caribbean barracuda (*Sphyrna barracuda*). *Biological trace element research*, **70**(1), 69-79. DOI: [10.1007/BF02783850](https://doi.org/10.1007/BF02783850)
- Mol, S., Karakulak, F.S. & Ulusoy, S. (2017). Some new records for marine diatom flora of Turkey from Akliman, Sinop (Black Sea). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **17**, 1387-1395. DOI: [10.4194/1303-2712-v17](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17)
- Mubiana, V.K., Vercauteren, K. & Blust, R. (2006). The influence of body size, condition index and tidal exposure on the variability in metal bioaccumulation in *Mytilus edulis*. *Environmental Pollution*, **144**, 272-279. DOI: [10.1016/j.envpol.2005.12.017](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.017)
- Mutlu, T. (2024). Distribution of toxic and trace metals in fish from the Black Sea: Implications for human health risks. *Emerging Contaminants*, **10**(2), 100295. DOI: [10.1016/j.emcon.2023.100295](https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100295)
- Pehlivan, H. (2017). *Investigation of heavy metal pollution in the sediments of the south of the Marmara Sea (Kocasu Delta)*, Master Thesis, Hacettepe University, Institute of Science and Technology, Ankara, 2017.
- Peycheva, K., Panayotova, V., Stancheva, R., Makedonski, L., Merdzhanova, A., Cicero, N., Parrino, V. & Fazio, F. (2021). Trace Elements and Omega-3 Fatty Acids of Wild and Farmed Mussels (*Mytilus galloprovincialis*) Consumed in Bulgaria: Human Health Risks. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **18**, 10023. DOI: [10.3390/ijerph181910023](https://doi.org/10.3390/ijerph181910023)
- Paschal, D.C. et al. (2000). Exposure of the U.S. population aged 6 years and older to cadmium: 1988-1994. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **38**(3), 377-383.
- Štambuk, A., Šrut, M., Šatović, Z., Tkalec, M. & Klobučar, G.I. (2013). Gene flow vs. pollution pressure: genetic diversity of *Mytilus galloprovincialis* in eastern Adriatic. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, **136-137**, 22-31. DOI: [10.1016/j.aquatox.2013.03.017](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.03.017)
- TUIK. (2024). 2023 Yılı Su Ürünleri İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. 53702. 04 Haziran 2024.

<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>

- Turanlı, N. & Gedik, K. (2021).** Spatial trace element bioaccumulation along with consumer risk simulations of Mediterranean mussels in coastal waters of Turkey. *Environ Sci Pollut Res.*, **28**, 41746-41759. DOI: [10.1007/s11356-021-13506-4](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13506-4)
- Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002).** Canlı çift kabuklu yumuşakçaların arındırılması ilişkin genelge. Genelge No: 2001/02.
- Traina, A., Bono, G., Bonsignore, M., Falco, F., Giuga, M., Quinci, E. M., Vitale, S. & Sprovieri, M. (2019).** Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): Potential human health risk estimation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **168**, 466-478. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.10.056](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.056)
- US EPA. (1996).** Acid digestion of sediments, sludges, and soils. US Environmental Protection Agency. EPA Method 3050B. Washington, DC, USA
- US EPA. (2000).** Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories volume 2 risk assessment and fish consumption limits Third Edition. US Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2010).** Toxic Release Inventory (TRI), TRI Explorer; Releases: Chemical Report 2009 – Cadmium and Cadmium compounds. Minnesota
- US EPA. (2011a).** United States Environmental Protection Agency, Regional screening level (RSL) resident fish table. Washington, DC.
- US EPA. (2011b).** Environmental Protection Agency, Risk assessment guidance for Superfund: Part E, Part F. Washington, DC.
- Varol, M., Kurt Kaya, G. & Alp, A. (2017).** Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Fırat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1288-1296. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.05.052](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.052)
- Varol, M. & Sünbül, M.R. (2018).** Multiple approaches to assess human health risks from carcinogenic and non-carcinogenic metals via consumption of five fish species from a large reservoir in Turkey. *Science of The Total Environment*, **633**, 684-694. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.03.218](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.218)
- Veiga, P., Ramos-Oliveira, C., Sampaio, L., & Rubal, M. (2020).** The role of urbanisation in affecting *Mytilus galloprovincialis*. *PloS one*, **15**(5), e0232797. DOI: [10.1371/journal.pone.0232797](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232797)
- Wahiduzzaman, M., Islam, M.M., Sikder, A.H.F. & Parveen, Z. (2022).** Bioaccumulation and heavy metal contamination in fish species of the Dhaleswari River of Bangladesh and related human health implications. *Biological Trace Element Research*, **200**, 3854-3866. DOI: [10.1007/s12011-021-02963-0](https://doi.org/10.1007/s12011-021-02963-0)
- Wang, H. & Ren, Z.J. (2014).** Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: A review. *Water Research*, **66**, 219-232, DOI: [10.1016/j.watres.2014.08.013](https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.013).
- WHO. (2011).** *Adverse Health Effects of heavy Metals in Children*. Children's Health and the Environment; WHO Training Package for the Health Sector, October (2011a).
- Yap, C.K., Ismail, A. & Tan, S.G. (2009).** Effect of body size on heavy metal contents and concentrations in green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from Malaysian coastal waters. *Pertanika Journal of Science and Technology*, **17**, 61-68.
- Yuan, Y., Sun, T., Wang, H., Liu, Y., Pan, Y., Xie, Y., Huang, H. & Fan, Z. (2020).** Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metals to bivalve species in Daya Bay (South China Sea): Consumption advisory. *Marine Pollution Bulletin*, **150**, 110717. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110717](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110717)
- Zeng, F., Wei, W., Li, M., Huang, R., Yang, F. & Duan, Y. (2015).** Heavy metal contamination in rice-producing soils of Hunan Province, China and potential health risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **12**, 15584-15593. DOI: [10.3390/ijerph121215005](https://doi.org/10.3390/ijerph121215005)



Rize Koşullarında GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) Mürdümük Çeşidinin Fenolojik, Morfolojik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi^[*]

Muhammed İkbâl ÇATAL^{1*} Cengiz SANCAK²

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Rize, Türkiye

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş Tarihi: 06.11.2024

Kabul Tarihi: 02.01.2025

Basım Tarihi: 31.01.2025

Atıf yapmak için: Çatal, M.İ. & Sancak, C. (2025). Rize Koşullarında GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) Mürdümük Çeşidinin Fenolojik, Morfolojik ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 34-39. <https://doi.org/10.35229/jaes.1580456>

How to cite: Çatal, M.İ. & Sancak, C. (2025). Determination of Phenological, Morphological and Quality Characteristics of GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) Grasspea Variety under Rize Conditions. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 34-39. <https://doi.org/10.35229/jaes.1580456>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4888-770X>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3091-2639>

***Sorumlu yazarın:**
Muhammed İkbâl ÇATAL
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Rize, Türkiye
✉: muhammed.catal@erdogan.edu.tr

Öz: Bu çalışmada, GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinde Rize ili Pazar ilçesinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma Alanı'nda 2 yıl süreyle (2018-2019, 2019-2020) çalışma yapılmış ve fenolojik gözlemler, morfolojik ölçümler ve kalite özellikleri belirlenmiştir. GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) çeşidinde incelenen özelliklere ait ortalama değerler; çiçeklenme başlangıcı 147.67 gün, %50 çiçeklenme süresi 162.66 gün, olgunlaşma süresi 234.16 gün, bitki boyu 129.92 cm, gövde genişliği 7.41 mm, yaprak sapı uzunluğu 2.85 cm, yaprak uzunluğu 7.79 cm, yaprak genişliği 0.75 cm, bitkide bakla sayısı 184.63 adet, bakla boyu 3.71 cm, bakla genişliği 1.23 cm, baklada tane sayısı 3.60 adet, 1000 tane ağırlığı 143.68 g, bitki başına tohum verimi 78.77 g, bitki başına biyolojik verim 203.07 g, hasat indeksi %37.87, kuru madde oranı % 93.72, ham kül oranı %2.88, ham protein oranı %16.37, ADF %37.21, NDF %55.13, sindirilebilir kuru madde (SKM) %59.91, kuru madde tüketimi (KMT) %2.18 ve nisbi yem değeri (NYD) 101.09 şeklindedir.

Anahtar kelimeler: *Lathyrus sativus*, rize, fenolojik gözlemler, morfolojik ölçümler, kalite özellikleri.

Determination of Phenological, Morphological and Quality Characteristics of GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) Grasspea Variety under Rize Conditions^[*]

***Corresponding author's:**
Muhammed İkbâl ÇATAL
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of
Agriculture, Department of Field Crops, Rize,
Türkiye
✉: muhammed.catal@erdogan.edu.tr

Abstract: In this study, grasspea (*Lathyrus sativus* cv. Gap Mavisi) was studied for 2 years (2018-2019, 2019-2020) in Recep Tayyip Erdoğan University Faculty of Agriculture Application and Research Area in Pazar district of Rize province and phenological observations, morphological measurements and quality characteristics were determined. The mean values of the characteristics examined in GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) variety were as follows: beginning of flowering 147.67 days, 50% flowering time 162.66 days, maturation time 234.16 days, plant height 129.92 cm, stem width 7.41 mm, petiole length 2.85 cm, leaf length 7.79 cm, leaf width 0.75 cm, number of pods in plant 184.63 pieces, pod length 3.71 cm, pod width 1.23 cm, number of seeds per pod 3.60, 1000 seed weight 143.68 g, seed yield per plant 78.77 g, biological yield per plant 203.07 g, harvest index 37.87%, dry matter ratio 93.72%, crude ash ratio 2.88%, crude protein ratio 16.37%, ADF 37.21%, NDF 55.13%, digestible dry matter (DDM) 59.91%, dry matter intake (DMI) 2.18% and relative feed value (RFV) 101.09.

Keywords: *Lathyrus sativus*, rize, phenological observations, morphological measurements, quality characteristics.

GİRİŞ

Baklagiller (Fabaceae), 18.000'den fazla sarılıcı, ot, çalı ve ağaç türü içeren ve sınırlı sayıda türü insan gıdası olarak kullanılan büyük bir familyadır. Baklagiller familyasında olan mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) bitkisi, hayvan besininde yem ve tane olarak, insan besininde ise

gıda olarak kullanılan geleneksel bir üründür. Bu baklagil bitkisinin özelliği, kuraklığa toleransı ve marjinal alanlar da dahil olmak üzere çok çeşitli toprak türlerine uyum sağlamasından ileri gelmektedir (Yan vd., 2006). Ayrıca olumsuz çevre koşulları altında ekonomik verim vermesi, son derece olumsuz hava koşullarından muzdarip bazı gelişmekte olan ülkelerde, geçimlik tarımda mürdümük

^[*] Bu çalışma, Muhammed İkbâl ÇATAL'ın doktora tezinden üretilmiştir.

^[*] This study was produced from the doctora thesis of Muhammed İkbâl ÇATAL.

bitkisini popüler bir ürün haline getirmektedir (Praveen vd., 1994).

Türkiye’de yetiştiriciliği yapılan yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) bitkisinin 2022 yılında Türkiye’de ekim alanı 66.994 da, üretim miktarı 55.208 ton (yeşil ot) şeklindedir (TÜİK, 2023). Türkiye’de Antalya, Burdur ve Afyonkarahisar’da *Lathyrus sativus*; Kale (Denizli) civarında *L. cicera* L., Marmaris (Muğla) Bozburun civarlarında *L. ochrus* (L.) DC., Datça (Muğla)’da ise *L. clymenum* L. mürdümük türleri yetiştiriciliği yapılmakta, insan ve hayvan gıdası olarak tüketilmektedir (Çetin, 2006; Hekimoğlu, 2019).

Ahmadı vd., (2015) kuru koşullarda 14 mürdümük hat üzerinde yaptıkları çalışmada; ortalama olarak çiçeklenme süresini 89.79 gün, olgunlaşma süresini 129.45 gün, bitki boyunu 51.57 cm, 100 tohum ağırlığını 9.34 gr, biyolojik verimi 4587.56 kg/h, tane verimini 1348.24 kg/h ve hasat indeksini 27.80 olarak belirlediğini; Das vd., (2015) mürdümük bitkisinin kuru otunda ham protein oranını %14.99, NDF oranını %58.08 ve ADF oranını %41.51 olarak bulduğunu; Sayar & Han (2015) tarafından ICARDA’dan elde edilen mürdümük hatlarında kışlık olarak yaptığı çalışmada, 89.3-136.5 g arasında bin dane ağırlığı, 3.08-3.72 adet/bakla arasında tohum sayısı, 528.2-847.1 kg/da arasında biyolojik verim, 188.3-309.2 kg/da arasında tohum verimi, 20.0-34.0 adet/bitki arasında bakla sayısı, %32.0-42.8 arasında hasat indeksi ve 208.6-211.7 gün arasında fizyolojik olum süresinin değişim gösterdiğini; Mahapatra vd., (2020) Bengal (Hindistan)’da 20 farklı mürdümük genotipinde yaptıkları çalışmada, ortalama olarak bitki boyunu 84.62 cm, %50 çiçeklenme süresini 63.72 gün, olgunlaşma süresini 113.33 gün, bitkide bakla sayısını 23.37, baklada tohum sayısını 3.13, 100 tohum ağırlığını 8.91 g, bitkide dal sayısını 5.16 ve bitkide tohum verimini 6.08 g bulduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada, Rize ilinin Pazar ilçesinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma Alanı’nda GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinin fenolojik gözlemleri, morfolojik ölçümleri ve kalite özellikleri belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT

Araştırma alanının yeri, toprak ve iklim özellikleri: Araştırmada, GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinin yetiştiriciliği Rize ili Pazar ilçesinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma Alanı’nda yapılmış ve araştırma alanının konumu Şekil 1’de verilmiştir.

Araştırma alanından alınan toprak örnekleri Pazar ve Çamlıhemşin Ziraat Odası Başkanlıkları Ş. Şemsi Bayraktar Toprak ve Bitki Analiz Laboratuvarında analiz edilmiş ve analiz sonucunda; saturasyon %50 (Tınlı), pH

6.69 (Hafif asit), toplam tuz %0.01 (Tuzsuz), kireç %1.16 (Az), organik madde %0.91 (Çok az), fosfor 1.06 kg/da (Çok az) ve potasyum 26.44 kg/da (Yeterli) olarak bulunmuştur. Araştırma alanının uzun yıllar (1964-2018), 2019 ve 2020 yıllarına ait iklim verileri sırasıyla, toplam yağış miktarı 2243.7, 1889.2, 1763.3 mm, sıcaklık ortalaması 14.4, 16.0, 15.8 °C ve nispi nem ortalaması %76.5, 81.7, 78.8 şeklindedir (Anonim, 2021).



Şekil 1. Araştırma alanının konumu (Google Earth)

Figure 1. Location of the research area (Google Earth)

Yöntem: Araştırmada, ticari olarak yetiştirilen GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinin tohumları materyal olarak kullanılmıştır. *L. sativus* var. GAP Mavisi çeşidinin tohumları 2018 ve 2019 yıllarının Ekim ayının son haftasında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma Arazisi’nde Tesadüf Blokları deneme desenine göre sıra arası 25 cm ve 3 tekerrürlü olarak tesis edilmiştir. 2019 ve 2020 yıllarında fenolojik gözlemler, morfolojik ölçümler ve kalite özellikleri her bir tekerrürde 5 bitki olacak şekilde toplamda 15 bitki üzerinde inceleme yapılmıştır.

Fenolojik gözlem ve morfolojik ölçümler IPGRI, (2000)’e göre belirlenmiş (Başaran, 2010) ve fenolojik gözlemlerde; çiçeklenme başlangıcı (gün), %50 çiçeklenme süresi (gün) ve olgunlaşma süresi (gün) özellikleri belirlenmiştir. Morfolojik ölçümlerde ise, bitki boyu (cm), bitki gelişme durumu (habitus), dallanma durumu, gövde genişliği (mm), yaprak sapı uzunluğu (cm), yaprak uzunluğu (cm), yaprak genişliği (cm), çiçek rengi, bitkide bakla sayısı (adet), bakla boyu (cm), bakla genişliği (cm), baklada tane sayısı (adet), bakla çatlatma durumu, bin tane ağırlığı (g), bitki başına tohum verimi (g), tohum kabuğu rengi, bitki başına biyolojik verim (g) ve hasat indeksi (%) özellikleri incelenmiştir.

Bitkinin kalite özellikleri, ham kül oranını mürdümük örneklerini 550 °C’de 4 saat süre ile porselen kroze içinde kül fırınında yakılarak, diğer kalite özelliklerini ise 60 °C’de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulup elek çapı 1 mm olan değirmende öğütülerek analize hazır hale getirilmiş örneklerde; Ham protein, ADF,

NDF oranları Foss NIRSystems Model 6500 Win ISI II v1.5 cihazında IC-0904FE kalibrasyon programı 20 kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca ADF ve NDF içerikleri yardımı ile numunelerin $SKM = 88.9 - (0.779 \times \%ADF)$ (Oddly vd., 1983), $KMT = 120 / (\%NDF)$ (Sheaffer vd., 1995) ve $NYD = (SKM \times KMT) / 1.29$ (Sheaffer vd., 1995) değerleri hesaplanmıştır.

İstatistiksel Analiz: İncelenen özelliklerin farklı yıllarına ait ortalama ve standart sapma değerleri JMP

istatistik paket programında tanımlayıcı istatistik analizi yapılmıştır.

BULGULAR

GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinde incelenen özelliklere ait elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. GAP Mavisi (*Lathyrus sativus*) mürdümük çeşidinde incelenen özellikler
Table 1. Characteristics examined in GAP Mavisi (*Lathyrus sativus*) grasspea cultivar

	GAP Mavisi (<i>Lathyrus sativus</i> L.)		
	1. Yıl	2. Yıl	Ortalama
Fenolojik Gözlemler			
Çiçeklenme başlangıcı (gün)	138.67±12.50	156.67±9.01	147.67
%50 Çiçeklenme süresi (gün)	158.00±3.60	167.33±6.02	162.66
Olgunlaşma süresi (gün)	223.00±7.64	245.33±10.69	234.16
Morfolojik Ölçümler			
Bitki boyu (cm)	130.40±24.89	129.43±16.51	129.92
Bitki gelişme durumu	Yarı Dik		
Dallanma durumu (B-A-Ü)	Bütün bitki üzerinde		
Gövde genişliği (mm)	7.76±0.29	7.07±1.16	7.41
Yaprak sapı uzunluğu (cm)	2.73±0.45	2.96±0.13	2.85
Yaprak uzunluğu (cm)	8.19±0.40	7.38±0.94	7.79
Yaprak genişliği (cm)	0.78±0.08	0.71±0.02	0.75
Çiçek rengi (görsel)	Mor	Mor	Mor
Bitkide bakla sayısı (adet)	216.60±57.87	152.67±34.31	184.63
Bakla boyu (cm)	3.69±0.13	3.73±0.06	3.71
Bakla genişliği (cm)	1.31±0.31	1.14±0.13	1.23
Baklada tane sayısı (adet)	3.33±0.31	3.87±0.23	3.60
Bakla çatlama durumu (Y-D-O-Yü)	D	D	Düşük
Bin tane ağırlığı (g)	155.37±5.92	132.00±10.58	143.68
Bitki başına tohum verimi (g)	96.13±12.60	61.40±10.97	78.77
Tohum kabuğu rengi (görsel)	Kahverengi üzeri siyah noktalı		
Bitki başına biyolojik verim (g)	216.07± 66.69	190.07±30.53	203.07
Hasat indeksi (%)	43.46±5.47	32.28±2.36	37.87
Kalite Özellikleri			
Kuru madde oranı (%)	92.08±2.14	95.36±1.66	93.72
Ham kül oranı (%)	2.91±0.11	2.85±0.08	2.88
Ham protein oranı (%)	17.86±1.85	14.88±1.47	16.37
ADF (%)	38.05±3.52	36.37±1.06	37.21
NDF (%)	57.28±1.23	52.98±1.18	55.13
Sindirilebilir kuru madde (%)	59.26±1.04	60.57±1.88	59.91
Kuru madde tüketimi (%)	2.09±0.02	2.27±0.18	2.18
Nisbi yem değeri	96.24±2.03	106.35±3.17	101.09

Tablo 1 incelendiğinde GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidine ait incelenen özelliklerin ortalama değerleri: fenolojik gözlemlerde çiçeklenme başlangıcı 147.67 gün (138.67-156.67 gün), %50 çiçeklenme süresi 162.66 gün (158.00-167.33 gün) ve olgunlaşma süresi 234.16 gün (223.00-245.33 gün); morfolojik ölçümlerde bitki boyu 129.92 cm (130.40-129.43 cm), bitki gelişme durumu yarı dik, dallanma durumu bütün bitki üzerinde, gövde genişliği 7.41 mm (7.76-7.07 mm), yaprak sapı uzunluğu 2.85 cm (2.73-2.96 cm), yaprak uzunluğu 7.79 cm (8.19-7.38 cm), yaprak genişliği 0.75 cm (0.78-0.71 cm), çiçek rengi mor, bitkide bakla sayısı 184.63 adet (216.60-152.67 adet), bakla boyu 3.71 cm (3.69-3.73 cm), bakla genişliği 1.23 cm (1.31-1.14 cm), baklada tane sayısı 3.60 adet (3.33-3.87 adet), bakla çatlama durumu düşük, bin tane ağırlığı 143.68 g (155.37-132.00 g), bitki başına tohum verimi 78.77 g (96.13-61.40 g), tohum kabuğu rengi kahverengi üzeri siyah noktalı, bitki başına biyolojik verim 203.07 g (216.07-190.07 g) ve

hasat indeksi %37.87 (%43.46-32.28); kalite özelliklerinde ise kuru madde oranı %93.72 (%92.08-95.36), ham kül oranı %2.88 (%2.91-2.85), ham protein oranı %16.37 (%17.86-14.88), ADF %37.21 (%38.05-36.37), NDF %55.13 (%57.28-52.98), SKM %59.91 (% 59.26-60.57), KMT % 2.18 (% 2.09-2.27) ve NYD 101.09 (96.24-106.35) şeklindedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Mürdümük bitkisi ile yapılan çalışmalara bakıldığında; Seydoşoğlu vd., (2015) tarafından 24 farklı mürdümük genotipinde Diyarbakır ekolojik koşullarında yaptığı çalışmada, 33.83-67.00 adet/bitki arasında bakla sayısı, 181.00-269.83 kg/da tohum verimi, 99.88-141.71 g 1000 tane ağırlığı, 39.25-59.17 cm bitki boyu, 2.95-3.72 adet/bakla tohum sayısı ve 165-175 gün arasında %50 çiçeklenmeye kadar geçen sürede değişim gösterdiğini ve ot üretimi için "GAP Mavisi" genotipi, tohum üretiminde

"SEL 2999" genotipinin Diyarbakır iklim ve toprak koşullarında yetiştirilmesinin önerildiğini; Başaran vd., (2016) tarafından İç Anadolu'nun yarı kurak koşullarında 52 adet mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotipinde yaptığı çalışmada, tohum verimini 1521.1 kg/ha, protein oranını %28.24, protein verimini 429.4 kg/ha, 1000 tohum ağırlığını 129.73 g, bitki boyunu 37.69 cm, %50 çiçeklenme süresini 51.98 gün ve olgunlaşma süresini 98.20 gün belirlediğini, Tufan, (2019) tarafından Yozgat ekolojik şartlarında gerçekleştirilen 9 adet Türkiye orijinli yerel popülasyon ve 3 adet tescilli çeşit (Gap Mavisı, İptaş ve Eren) olmak üzere toplamda 12 mürdümük genotipinde yaptığı araştırmada, %50 çiçeklenme süresini 66.77 gün, olgunlaşma süresini 110.62 gün, dal sayısını 3.59 adet/bitki, 48.62 cm bitki boyu, ham protein oranını %25.68, tohum verimini 178.84 kg/da, bin tane ağırlığını 128.86 g, tane sayısını 2.91 adet/bakla, bakla sayısını 18.58 adet/bitki ve ana sap kalınlığını 1.82 mm olarak belirlediğini, Deniz vd., (2020) tarafından Bilecik ve Bursa ekolojik koşullarında 1 köy popülasyonu ile 5 mürdümük çeşidinde (Eren, Gürbüz 2001, Gap Mavisı, Karadağ ve İptaş) yaptığı araştırmada, Bilecik lokasyonunda incelenen tüm özelliklerin Bursa lokasyonuna göre daha yüksek değerler verdiğini ve ortalama olarak tohum verimini 128.58 kg/da, bitkide bakla sayısını 24.33 adet, NDF oranını %39.09, ADF oranını %32.57, 1000 tane ağırlığını 160.49 g ve ham protein oranını %16.69 bulduğunu; Özdemir vd., (2020) tarafından Elazığ ekolojik koşullarında 31 adet mürdümük genotipinde yaptığı çalışmada, 75.10-117.72 kg/da arasında tane verimi, 188.72-271.18 kg/da biyolojik verim, 0.83-1.23 cm bakla genişliği, 2.78-3.45 cm bakla boyu, 2.03-4.23 g/bitki arasında tane ağırlığı değişim gösterdiğini; Ranjithkumar vd., (2020) 21 genotip üzerinde yaptıkları çalışmada, çiçeklenme başlangıcı süresini 54.68 gün, 71.6 gün %100 çiçeklenme süresi, baklanın %50 olgunlaşma süresini 97.34 gün, bitki boyunu 32.06 cm, ana dal sayısını 3.01 adet, bakla sayısını 7.08 adet/bitki, baklada tohum sayısını 2.12 adet, bakla uzunluğunu 2.6 cm, hasat süresini 102.17 gün ve tohum verimini 13.36 g/bitki olarak belirlediğini; Tenikecier, (2020) tarafından bazı mürdümük genotiplerinde yaptığı çalışmada, 160.22-270.83 kg/da arasında tane verimi, 2.86-3.44 adet/bakla tane sayısı, 31.65-36.70 mm bakla boyu, 9.57-11.60 mm bakla eni, 19.12-27.66 adet/bitki bakla sayısı, 218.88-260.26 g 1000 tohum ağırlığı, 5.40-6.42 adet/bitki dal sayısı ve 85.75-103.60 cm bitki boyu değişim gösterdiğini; Yıldırım & Turan, (2020) tarafından Siirt ili kuru şartlarında yapılan çalışmada, mürdümük (GAP Mavisı) çeşidinin bitki boyunu 66.67 cm, ham protein verimini 139.51 kg/da, yeşil ot verimini 2916.33 kg/da, NYD 175.89, KMT oranını 3.38, SKM oranını 67.09, NDF oranını %35.66, ADF oranını %28.00, ham protein oranını %18.96 ve 739.72

kg/da kuru ot verimi elde ettiğini; Barai vd., (2021) tarafından bazı mürdümük (*Lathyrus sativus*) genotiplerinde Bengal (Hindistan)'da yaptığı çalışmada, ortalama olarak bitki boyunu 59.44 cm, yaprak uzunluğunu 7.34 cm, yaprak genişliğini 0.93 cm, %50 çiçeklenme süresini 67.12 gün, bitkide bakla sayısını 32.99 adet, bakla uzunluğunu 2.99 cm, bakla genişliğini 0.96 cm, baklada tohum sayısını 3.62 adet ve olgunlaşma süresini 117.1 gün olarak tespit ettiğini; Küçükkaya & Çopur-Doğrusöz, (2022) tarafından Yozgat ekolojik şartlarında Türkiye orijinli dört tescilli çeşit (Eren, İptaş, GAP Mavisı ve Karadağ) ve beş popülasyon olmak üzere toplamda dokuz mürdümük genotipinde yaptığı çalışmada, ham protein oranını %27.71-28.88 arasında, hasat indeksi %35.73-46.57, tane sayısı 2.97-4.00 adet/bakla, 392.40-642.10 kg/da biyolojik verim, 16.63-24.87 adet/bitki bakla sayısı, 1000 tane ağırlığı 129.23-162.17 g, 1.67-2.07 mm ana sap kalınlığı, 174.80-234.90 kg/da tohum verimi, ana sap uzunluğu 58.00-95.67 cm, 10.33-11.93 mm bakla eni, ana sap sayısı 4.00-5.67 adet, 3.23-3.67 cm bakla boyu, olgunlaşma süresi 263.33-269.00 gün ve genotiplerin %50 çiçeklenme süresi 205.33-211.00 gün arasında değişiklik gösterdiğini; Özdemir vd., (2022) tarafından 31 adet mürdümük genotipinde yaptığı çalışmada, mürdümük genotiplerine ait NYD 77.46-106.47, KMT oranı 1.92-2.38, SKM oranı 51.96-57.95, NDF oranı %50.53-62.66, ADF oranı %39.73-47.42, 6.03-11.9 kg/da ham protein verimi, ham protein oranı %4.71-7.36 ve ham kül oranı %7.12-9.52 arasında değiştiğini; Sönmez & Türk, (2022) tarafından Isparta ekolojik koşullarında 4 adet çeşit ve 120 adet mürdümük genotipi kullanılarak yapılan çalışmada, genotiplerin tohum verimi 0.34-33.00 g/bitki, biyolojik verim 3.06-82.40 g/bitki, bakla sayısı 2.81-62.00 adet/bitki bakla sayısı, baklada tane sayısı 1.23-4.32 adet, 41.69-238.00 g 1000 tane ağırlığı, bakla boyu 2.10-4.10 cm, bitki boyu 14.48-76.80 cm ve bakla eni 0.71-1.40 cm arasında değişim gösterdiğini; Türk ve Sönmez (2022) mürdümük genotiplerinde kuru madde tüketimini %4.95-10.42, sindirilebilir kuru madde 80.94-83.30, 88.16-92.07 toplam sindirilebilir besin maddesi, NDF oranı %11.52-24.23, ADF oranı %7.19-10.22 ve ham protein oranı %13.52-24.64 arasında değiştiğini araştırmacılar bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmadan elde edilen bulgularla yukarıda bahsedilen araştırmacıların bulguları arasında benzerlik ve farklılıklar bulunmaktadır. Farklılıklara, çalışma yapılan çeşit ve hatların özelliklerinin farklı olması ve farklı iklim ve toprak yapısından dolayı kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; GAP Mavisı (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinde, Rize ili Pazar ilçesinde bulunan Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama ve Araştırma Alanı'nda 2 yıl süreyle (2018-2019, 2019-2020) çalışma yapılmış ve fenolojik gözlemler,

morfolojik ölçümler ve kalite özellikleri belirlenmiştir. GAP Mavisi (*Lathyrus sativus* L.) mürdümük çeşidinde incelenen özelliklere ait ortalama değerler; fenolojik gözlemlerde çiçeklenme başlangıcı 147.67 gün, %50 çiçeklenme süresi 162.66 gün, olgunlaşma süresi 234.16 gün; morfolojik ölçümlerde bitki boyu 129.92 cm, bitki gelişme durumu yarı dik, dallanma durumu bütün bitki üzerinde, gövde genişliği 7.41 mm, yaprak sapı uzunluğu 2.85 cm, yaprak uzunluğu 7.79 cm, yaprak genişliği 0.75 cm, çiçek rengi mor, bitkide bakla sayısı 184.63 adet, bakla boyu 3.71 cm, bakla genişliği 1.23 cm, baklada tane sayısı 3.60 adet, bakla çatlama durumu düşük, bin tane ağırlığı 143.68 g, bitki başına tohum verimi 78.77 g, tohum kabuğu rengi kahverengi üzeri siyah noktalı, bitki başına biyolojik verim 203.07 g, hasat indeksi %37.87 ve kalite özelliklerinde kuru madde oranı %93.72, ham kül oranı %2.88, ham protein oranı %16.37, ADF %37.21, NDF %55.13, SKM %59.91, KMT %2.18 ve NYD 101.09 şeklindedir. Buna göre, Rize şartlarında yetiştiricilik için ekim alanının olduğu bölgelerde, bölge çiftçisinin elinde bulunan hayvanların yem ihtiyacını karşılamak için alternatif olarak mürdümük bitkisi değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- Ahmadı, J., Vaezi, B. & Pour-Aboughadareh, A. (2015). Assessment of heritability and relationships among agronomic characters in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under rainfed conditions. *Biharean Biologist*, 9(1), 29-34.
- Anonim. (2021). T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Rize İl Müdürlüğü Kayıtları.
- Barai, R., Chakraborty, S., Sarkar, A., Mandal, R., Chakraborty, M., Debnath, M.K. & Kundu, A. (2021). Characterization and evaluation of some genotypes of *Lathyrus* spp. in Terai Region of West Bengal. *Biological Forum—An International Journal* 13(3), 589-595.
- Başaran, U. (2010). Türkiye'nin farklı yörelerinde yetiştirilen mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) populasyonlarının tarımsal özellikleri, protein içerikleri ve odap düzeylerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye, 131s.
- Başaran, U., Mut, H., Gülümser, E. & Çopur Doğrusöz, M. (2016). Evaluation of Turkish grass pea (*Lathyrus sativus* L.) collections for its agronomic characters with a special reference to ODAP content. *Legume Research*, 39(6), 876-882.
- Çetin, T. (2006). Bazı *Lathyrus* L. türlerinin karyotip analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 50s.
- Das, M., Yadav, V.K., Singh, A., Sharma, P.K. & Ghosh, P.K. (2015). Nutrient utilization and growth performance of Jalauni lambs fed grass pea (*Lathyrus sativus*) hay based diet. *Scientific Papers, Series D, Animal Science*, 58: 111-115.
- Deniz, M., Kızıl Aydemir, S., Algan, E., Yerlikaya, D.Ü. & Uzun, A. (2020). Farklı lokasyonlarda yetiştirilen bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin tarımsal özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3), 566-575. DOI: 10.30910/turkjans.650984
- Hekimoğlu, E. (2019). Endemik *Lathyrus undulatus* Boiss.(Fabaceae) türü üzerinde morfolojik, anatomik, palinolojik ve karyolojik araştırmalar. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Bursa, Türkiye, 47s.
- IPGRI. (2000). Descriptors for *Lathyrus* spp. International Plant Genetic Resource Institute, Rome, Italy
- Küçükaya, U. & Çopur-Doğrusöz, M. (2022). Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) popülasyon ve çeşitlerinin Yozgat ekolojisinde morfolojik ve agronomik özelliklerinin belirlenmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 6(4):786-796.
- Mahapatra, S., Das, N., Bhattacharya, A., Bhattacharya, P. K., Pal, S. & Barpete, S. (2020). Studies on genetic variability, divergence and association of characters in grass pea. *J. of Crop and Weed*, 16(1): 155-161.
- Oddy, V. H., Robards, G. E. & Low, S. G. (1983). Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fiber nitrogen content of a feed. In: *Feed Information and Animal Production*. (ed) Robards, G.E., Packham, R.G., Common wealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, 395-398, UK.
- Özdemir, S., Kökten, K., Kaplan, M. & Uçar, R. (2020). Elazığ koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin tohum verimi ve tohum verimini etkileyen bazı özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 445-452. DOI: 10.30910/turkjans.725843
- Özdemir, S., Kökten, K., Uçar, R. & Kaplan, M. (2022). Bazı Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin kes kalitelerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 9(2), 295-307.
- Praveen, U., Gabay, R. & Cohen, O. (1994). Cloning and Expression of OX-DAPRO Degrading Genes from Soil Microbe. *J. Plant Bioch. Biotech.*, 3, 25-29.

- Ranjithkumar, G., Debnath, S. & Rajasekhar, D. (2020).** Character association and path analysis for seed yield and its components in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *The Bioscan*, **15**(3), 291-295.
- Sayar, M.S. & Han, Y. (2015).** Determination of seed yield and yield components of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) lines and evaluations using GGE Biplot analysis method. *Journal of Agricultural Sciences*, **21**, 78-92.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V., Kökten, K. & Karadağ, Y. (2015).** Diyarbakır ekolojik koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin verim ve verim unsurlarının belirlenmesi. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University (JAFAG)*, **32**(3), 98-109. DOI: [10.13002/jafag863](https://doi.org/10.13002/jafag863)
- Sheaffer, C.C., Peterson, M.A., Mccalin, M., Volene, J.J., Cherney, J.H., Johnson, K.D., Woodward, W.T. & Viands, D.R. (1995).** Acid detergent fiber, neutral detergent fiber concentration and relative feed value. *North American Alfalfa Improvement Conference*, Minneapolis.
- Sönmez, T.A. & Türk, M. (2022).** Isparta koşullarında bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin tohum verimi ve bazı agronomik özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, **4**(2), 88-93. DOI: [10.55979/tjse.1176343](https://doi.org/10.55979/tjse.1176343)
- Tenikecier, H.S. (2020).** Forage and seed yield, relationships among its characters in some grass pea (*Lathyrus sativus* L.) genotypes. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, **37**(3) 152-158. DOI: [10.13002/jafag44731](https://doi.org/10.13002/jafag44731)
- Tufan, Y. (2019).** Yerel mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinde morfolojik ve tarımsal özelliklerin varyasyonu ve aralarındaki ilişkinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat, Türkiye, 48s.
- TÜİK (2023).** Türkiye İstatistik Kurumu Bitkisel Üretim Verileri, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>. (15 Haziran 2024)
- Türk, M. & Sönmez, T.A. (2022).** Bazı mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi*, **4**(2), 94-99. DOI: [10.55979/tjse.1181243](https://doi.org/10.55979/tjse.1181243)
- Yan, Z. Y., Spencer, P.S., Li, Z.X., Liang, Y.M., Wang, Y.F., Wang, C.Y. & Li, F.M. (2006).** *Lathyrus sativus* (Grass pea) and its neurotoxin ODAP: Review. *Phytochemistry*, **67**, 107-121.
- Yıldırım, F. & Turan, N. (2020).** Tek yıllık bazı baklagil yem bitkilerinin verim ve verim unsurları ile bazı silaj özelliklerinin belirlenmesi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, **4**(3), 477-491.



Distemperli Köpeklerde Sekonder Bakteriyel Enfeksiyonların Hemogram Değerleri ve Davranışlar Üzerine Etkisi

Derya KARATAŞ YENİ¹ Yavuzkan PAKSOY^{2*} Duygu ARSLAN³ Muhammed Can GÖKMEN⁴

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Konya, Türkiye.

^{2*} Necmettin Erbakan Üniversitesi, Kemal Akman Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Konya, Türkiye.

³ Alfa Vet Veteriner Kliniği, Hatay, Türkiye.

⁴ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Konya, Türkiye.

Received: 06.09.2024

Accepted: 03.00.2025

Published: 31.01.2025

Atf yapmak için: Karataş Yeni, D., Paksoy, Y., Arslan, D. & Gökmen, M.C. (2025). Distemperli Köpeklerde Sekonder Bakteriyel Enfeksiyonların Hemogram Değerleri ve Davranışlar Üzerine Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 40-47. <https://doi.org/10.35229/jaes.1544585>

How to cite: Karataş Yeni, D., Paksoy, Y., Arslan, D. & Gökmen, M.C. (2025). The Effect of Secondary Bacterial Infections on Haemogram Values and Behaviour in Dogs with Distemper. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 40-47. <https://doi.org/10.35229/jaes.1544585>

: <https://orcid.org/0000-0001-7261-1394>
 : <https://orcid.org/0000-0002-0935-7693>
 : <https://orcid.org/0009-0000-9803-5452>
 : <https://orcid.org/0009-0003-6385-5495>

***Sorumlu yazar:**

Yavuzkan PAKSOY
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Kemal Akman
Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü, Konya, Türkiye
✉: yavuzkan7@gmail.com

Öz: Köpek Gençlik Hastalığı, *Paramyxoviridae* ailesinin *Morbillivirus* cinsi içerisinde yer alan *Morbillivirus canis*'in neden olduğu viral bir enfeksiyondur. *Morbillivirus canis* (canine distemper virüs, CDV), köpeklerde solunum, sindirim ve sinir sistemlerini etkileyen ciddi multisistemik enfeksiyonlara yol açmaktadır. Bu çalışma ile canine distemper virüs enfeksiyonuna yakalanmış yavru köpeklerde sekonder bakteriyel enfeksiyonların hemogram değerleri, hayvan davranışları ve hastalığın prognozu üzerine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Araştırma materyalini, Hatay ilinde faaliyet gösteren özel bir veteriner kliniğine Haziran 2023 - Haziran 2024 tarihleri arasında getirilen ve Köpek Gençlik Hastalığı teşhisi konulan toplam 35 yavru köpek (2-6 aylık) oluşturmuştur. Farklı yaşlarda, cinsiyetlerde ve ırklarda olan bu köpeklerde hemogram değerleri, bazı davranış değişiklikleri ve enfeksiyonun prognozu takip edilmiştir. Çalışmada CDV enfeksiyonlu tüm köpeklerde çeşitli merkezi sinir sistemi rahatsızlıkları ve anormal davranışlar farklı oranlarda gözlemlenmiştir. Çalışmada sadece CDV enfeksiyonuna yakalanan yavru köpeklerde mortalite oranı %28,6 olarak belirlenmiştir. CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerde ise bu oran %43 olarak belirlenmiştir. Klasifikasyonu yapılan davranış değişikliklerinin sadece CDV'li köpeklerde ve CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerde gözlenme sıklığı kıyaslanmıştır. Elde edilen veriler, bazı durumlarda sekonder bakteriyel enfeksiyonların hastalığın şiddetini, semptomlarını ve davranış bozukluklarını artırabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, CDV'li köpeklerde sekonder bakteriyel enfeksiyonların önlenmesinde uygun bakım besleme, hijyen kurallarına uyma ve bireysel barındırma büyük önem taşımaktadır.

Keywords: *Morbillivirus canis* (canine distemper virüs, CDV), sekonder bakteriyel enfeksiyon, yavru köpek, anormal davranış, koruyucu hekimlik.

The Effect of Secondary Bacterial Infections on Haemogram Values and Behaviour in Dogs with Distemper

Abstract: Canine distemper (CD) is a viral infection caused by *Morbillivirus canis*, a member of the *Morbillivirus* genus of the *Paramyxoviridae* family. *Morbillivirus canis* (canine distemper virus, CDV) causes severe multisystemic infections affecting the respiratory, digestive and nervous systems in dogs. The aim of this study was to investigate the effects of secondary bacterial infections on haematological values, animal behaviour and the prognosis of CDV-infected puppies. The study utilised a total of 35 puppies (2-6 months) that were referred to a private veterinary clinic in Hatay province between June 2023 and June 2024 with a diagnosis of Canine Distemper. The study encompassed a comprehensive evaluation of haemogram values, behavioural changes, and the prognosis of the infection in these puppies, encompassing diverse age groups and breeds. The study revealed that various central nervous system disorders and abnormal behaviours manifested at different rates in all CDV-infected dogs. The mortality rate was determined to be 28.6% in puppies infected with CDV, and 43% in dogs with CDV and a secondary bacterial infection. The frequency of occurrence of the classified behavioural changes was compared in dogs with CDV only and in dogs with CDV and a secondary bacterial infection. Recent studies have demonstrated that secondary bacterial infections can, in certain cases, exacerbate the severity of the disease, the manifestation of symptoms, and the emergence of behavioural disorders. Consequently, the implementation of proper care, feeding, hygiene, and individual housing practices is of paramount importance in the prevention of secondary bacterial infections in canines affected by CDV.

Anahtar kelimeler: *Morbillivirus canis* (canine distemper virüs, CDV), secondary bacterial infection, puppy, abnormal behaviour, preventive medicine.

***Corresponding author's:**

Yavuzkan PAKSOY
Necmettin Erbakan University, Kemal
Akman Vocational School, Department of
Plant and Animal Production, Konya,
Türkiye
✉: yavuzkan7@gmail.com

GİRİŞ

İlk olarak 1905 yılında Henri Carré tarafından tanımlanan Köpek Gençlik Hastalığı (Canine Distemper), *Paramyxoviridae* ailesinin *Morbillivirus* cinsi içerisinde yer alan *Morbillivirus canis*'in (eski adıyla Canine distemper virüs, CDV) neden olduğu viral bir enfeksiyondur (Sykes & Vandevelde, 2021). Bir RNA virüsü olan CDV, pleomorfik, genellikle küresel, yaklaşık 150 nm çapa sahip zarflı virionlardır (Rendon-Marin vd., 2019). Virüs başta köpekler olmak üzere Canidae (Köpekgiller), Procyonidae (Rakungiller) Mustelidae (Sansargiller), Felidae, Ursidae ve Viverrid ailelerinin üyelerini etkilemektedir (Gámiz vd., 2011). Enfeksiyon, geniş konakçı aralığından dolayı dünya çapında enzootik yayılım göstermektedir (Rikula, 2008).

CDV, köpeklerde solunum, sindirim ve sinir sistemlerini etkileyen ciddi multisistemik enfeksiyonlara yol açmaktadır (Blancou, 2004). Alimenter ya da solunum yoluyla bulaşan enfeksiyonda semptomlar akut, subakut ve kronik olmak üzere 3 farklı evreye göre farklılık göstermektedir (Jones & Hunt, 1983). Enfeksiyonun başlarında iştah kaybı, hafif depresyon, göz burun akıntısı, dalgalı ateş ve bademcik iltihabı gibi spesifik olmayan belirtiler gözlenmektedir. Bu safhada bağışıklığı kuvvetli köpeklerde virüs dokulardan temizlenebilmekte ve hayvan enfeksiyondan tamamen kurtulabilmektedir. Ancak yavruarda veya bağışıklık sistemi zayıf köpeklerde enfeksiyon ilerleyerek solunum ve sindirim sistemleri ile deride; purulent burun akıntısı, öksürük, dispne, pnömoni, ishal, kusma ve dermal püstüller gibi semptomlar meydana getirebilmektedir (Martella vd., 2008). Deride meydana gelen hiperkeratoz sonucu ayak tabanlarında (hard pad) ve burun ucunda hastalığa spesifik lezyonlar şekillenebilmektedir (Koutinas vd., 2004). Bu safhadan sonra canlı iyileşebilmekte ancak vücut kondisyonu oldukça zayıflamaktadır. İyileşemeyen köpeklerde virüs Merkezi Sinir Sistemini (MSS) etkileyerek anormal davranışlar, “sakız çiğneme” nöbetleri şeklinde görülen konvülsiyonlar, serebellar ve vestibüler belirtiler, parezi veya felç, amaçsız gezinme, koordinasyon bozukluğu veya kas seğirmeleri gibi sinirsel semptomları ortaya çıkarabilmektedir. Beynin virüsten etkilendiği bölgeye göre bu semptomlar değişiklik göstermektedir (Rossiter vd., 2001). Enfeksiyonun son evrelerinde köpeğin ayağa kalkamaması ve solunum kaslarının felci ile ölüm şekillenebilmektedir (Jones & Hunt, 1983).

Viral enfeksiyonlar, bakteriyel adezyonu ve kolonizasyonu kolaylaştırıp, konakçının immün yanıtını değiştirmektedir. Bunun sonucunda immünosupresyona neden olarak bakteriyel enfeksiyonlara zemin hazırlamaktadır (Beadling & Slifka, 2004; Reddy & Shenoy, 2023). Özellikle yavruarda ve bağışıklığı zayıf köpeklerde

enfeksiyona sekonder bakteriyel etkenlerin katılmasıyla semptomlar şiddetlenmekte ve prognoz kötüleşmektedir (Carvalho vd., 2012; Cho & Park, 2005). Headley ve arkadaşları (Headley vd., 1999) tarafından yayınlanan bir vaka bildirisinde CDV enfeksiyonundan öldüğü belirlenen bazı köpeklerden *Bordetella bronchiseptica* izole edildiği bildirilmiştir.

Canlıların çevrelerinden gelen uyaranlara karşı göstermiş oldukları tepkiler ‘davranış’ olarak tanımlanmaktadır. Hasta bir hayvanda anormal davranışların gözlemlenmesi, hastalığın teşhisi için kritik önem taşımaktadır (Hart ve Hart, 2019). Hayvanların normal ve anormal davranışları iyi bilinerek CDV gibi ölümcül hastalıkların yanı sıra bunların neden olduğu sekonder enfeksiyonların da erken teşhis ve tedavisi mümkün kılınarak hayvan refahı artırılabilir (Karataş Yeni ve ark., 2024).

Yavru köpeklerde yüksek mortalite oranı ile seyreden (Headley & Graça, 2000) CDV enfeksiyonların da korunma ve kontrol büyük önem taşımaktadır. Bunun için düzenli aşılama, hijyen kurallarına uyulması, bakım ve besleme programlarının uygun şekilde hazırlanması ve takip edilmesi gerekmektedir.

Viral hastalıklarda bakterilerin sekonder etken olarak enfeksiyona katılmasının prognozu olumsuz etkilediği literatürde belirtilmiş olsa da bunun nörolojik semptomlar üzerine etkisi hakkında bilgi oldukça kısıtlıdır (Carmichael & Binn, 1981). Bu çalışmada Köpek Gençlik Hastalığında sekonder bakteriyel enfeksiyon varlığının, CDV'nin merkezi sinir sistemindeki lezyonlarının bir yansıması olarak ortaya çıkan nörolojik bulgular ve hastalığın prognozu üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmamızda, CDV enfeksiyonuna yakalanmış çeşitli ırklardan farklı yaş ve cinsiyete sahip yavru köpekler üzerine epidemiyolojik bulgular da ortaya konulmuştur.

MATERYAL VE METOT

Çalışma materyali: Çalışma materyalini, 2023 Haziran – 2024 Haziran ayları arasında Hatay bölgesinde bulunan özel bir veteriner kliniğine (Alfa Vet Veteriner Kliniği) getirilen CDV ile enfekte olmuş yavru köpekler oluşturmuştur. Çalışmada veri alınan tüm köpeklere benzer beslenme programı uygulanmıştır. Çalışma sırasında köpeklerle temas edilmemiş, kliniğin veteriner hekimi tarafından oluşturulan kayıt defterinden yararlanılmıştır. Çalışmada, CDV ile doğal enfekte German Shepherd, Rottweiler, Cocker Spaniel, Pinscher, Labrador Retriever, Doberman olmak üzere farklı ırklardan 2 ay ile 6 ay arası yaşlarda toplam 35 köpek kullanılmıştır. Kliniğe farklı zamanlarda getirilen bu köpeklerde yüksek ateş, halsizlik,

uyuşukluk, dehidrasyon, iştahsızlık, göz ve burun akıntısı, anoreksi, depresyon, keratit, ishal, kusma, hırıltılı solunum, sinirsel (MSS) semptomlar, inkoordinasyon ve hard pad gibi semptomlar kaydedilmiştir.

Kliniğe farklı zamanlarda getirilen bu köpeklerde yüksek ateş, halsizlik, uyuşukluk, dehidrasyon, iştahsızlık, göz ve burun akıntısı, anoreksi, depresyon, keratit, ishal, kusma, hırıltılı solunum, sinirsel (MSS) semptomlar, inkoordinasyon ve hard pad gibi semptomlar kaydedilmiştir.

CDV tanısı: Semptomatik köpeklerde CDV tanısı sandviç yanal akış immünokromatografik (CDV Ag Test, BioGuard) yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Steril swap yardımı ile alınan göz ve burun akıntısı buffer solüsyon tüpü içerisine aktarılmıştır. Buffer solüsyon ile homojen karışımı ve iyi çözünbilmesi için tüp çalkalanarak, tek kullanımlık damlalık yardımı ile numune bölmesine kademeli olarak 4 damla (100 µL) numune solüsyonu damlatılmıştır. Sonuç 5-10 dakika içinde yorumlanmış, 10 dakikayı geçen sonuçlar geçersiz sayılmıştır. Test kaseti üzerinde hem kontrol (C) hem de test (T) bölgesinde renkli bantın varlığı CDV antijen pozitifliğine yorumlanmıştır.

Sekonder bakteriyel enfeksiyonların tanısı: Semptomatik köpeklerde sekonder bakteriyel enfeksiyonların teşhisi normal hemogram değerlerindeki sapmalara ve ateşin seyrine göre yapılmıştır (Harper ve ark., 2003; Nikolic ve ark., 2022). Bu kapsamda, WBC (beyaz kan hücresi), nötrofil, lenfosit ve monosit değerlerinden yararlanılmıştır. Tedavi başlangıcında kan analizi için aseptik antiseptik kurallarına uyularak semptomatik köpeklerin *Vena cephalica antebra*’sinden EDTA’lı tüpe 10 ml kan alınmıştır. Alınan kanların hematolojik muayenesi hemogram cihazında yapılmıştır.

2-6 aylık sağlıklı yavru köpeklerde; akyuvar (WBC) değerleri 5.5-15, nötrofil (NEU) değerleri 3-10.5, lenfosit (LYMPH) değerleri 0.8-7, monosit (MONO) değerleri 0-1.9, hematokrit (HCT) (%) değerleri 30-49, alyuvar (RBC) değerleri 4.6-10 arasındadır (MSD Manual). Köpeklerde bakteriyel enfeksiyon sonucu WBC, nötrofil, lenfosit ve monosit değerleri yükselmekte, RBC değeri ise düşmektedir (Elgalfy vd., 2022). Verilen referans aralıklarının dışında kalan ve yüksek ateş gösteren yavru köpekler sekonder bakteriyel enfeksiyonlu kabul edilmiştir.

Tedavi: Aşılı hayvanların viral enfeksiyonlara yakalanma riski aşısız hayvanlara oranla daha düşük, hastalığı atlama ihtimali ise aşısız hayvanlara oranla daha yüksektir. Viral enfeksiyonlarda yapılan ilaçların virüslere etki etmemesi sebebi ile köpeklere sağlıklı iken düzenli ve doğru zamanda aşı uygulamalarının yapılması önerilmektedir (Horzinek, 2010). Bu nedenle CDV’li hastaların tedavi protokolünde semptomlara yönelik sekonder bakteriyel enfeksiyon tedavisi yapılmaktadır. Tüm enfekte köpeklere antibiyotik olarak Ba-sülf (1 ml/15 kg/gün IM), sıvı sağaltımı için İzotonik NaCl ve Laktatlı Ringer (10 ml/kg/gün IV), B ve C vitamini, Meloxicam (0.04ml/kg/gün SC) ilaçları 7-10 gün uygulanmıştır. Dehidrasyonun derecesine göre sıvı sağaltım uygulaması artırılmıştır.

Davranışların klasifikasyonu: Kliniğin yoğun bakım ünitesinde tedavi altına alınan köpekler sorumlu Veteriner Hekim tarafından gözlemlenerek çeşitli davranışları kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan davranışlar değerlendirilerek CDV’nin meydana getirdiği anormal davranışlar ve sekonder enfeksiyonların bu anormal davranışların üzerindeki etkisi incelenmiştir. İncelenen davranışlar (Tablo 1) 15 başlık altında toplanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada incelenen davranışlar.

Table 1. Behaviors examined in the study.

	DAVRANIŞ	TANIM
1.	İştahsızlık	Yeme-içme isteğinin önceki düzeyinden daha az olması olarak tanımlanan durumdur
2.	Hırlama	Köpeğin saldırmadan önce hırıltılı ses çıkarmasıdır
3.	İnleme	Acı, üzüntü veya bunlara benzer durumlarda çıkarılan sestir
4.	Halsizlik	Çeşitli nedenlerden dolayı bitkin olma hissidir
5.	Huzursuzluk	Sürekli hareket etme ihtiyacı hissetmek, zihni sakinleştirememek veya ikisinin birleşimidir
6.	Uyuşukluk (Letarji)	Hayvanda azalan fizyolojik faaliyetlerin bir durumudur
7.	Depresyon	Canlıların kendini psikolojik olarak iyi hissetmediği, çok uzun süreler devam edebilen ve günlük hayatı etkileyen psikolojik bir rahatsızlıktır
8.	Koordinasyon bozukluğu	Motor işlevleri ve planlamaları yerine getirmede zorlanmayı işaret eden bir rahatsızlıktır
9.	Kasılma (Opistotonus)	Başın ve boynun şiddetli bir şekilde geriye doğru kasılması anlamına gelen durumdur
10.	Dönme hareketi	Hayvanın yürürken yalpalaması ve dengersiz hareket etmesidir. Kafasını sürekli bir tarafa doğru eğik tutarak kendi etrafında dönme hareketi yapmaktadır
11.	Çene kilitlenmesi (Trismus)	Çenede yer alan eklemleri çevreleyen kaslarda spazmlar görülmesi durumudur
12.	Temporal kaslarda tikler	Bir ya da birden fazla kasın aynı anda çalışması ile oluşan tiklerdir
13.	Epileptik nöbetler	Beyinde bulunan nöronlarda ani ve kontrolsüz boşalmalar (deşarjlar) sonucu hastada istemsiz kasılmaların, duyuşal değişikliklerin ve bilinç değişikliklerinin meydana geldiği durumdur
14.	Birden çok kasta seğirme (Myoklonus)	Merkezi sinir sisteminden kaynaklanan bir veya birden çok kasta meydana gelen istemsiz ve kısa süreli seğirmedir
15.	Çığlık atma	Kulak tırmalayıcı korkunç sesler çıkarak acı acı bağırmasıdır

BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 35 CDV’li yavru köpeğin davranış ve hemogram değerleri Tablo 2’de belirtilmiştir. Bu köpeklerin 13 (%37)’ünde WBC değeri yükselirken, 6 (%17)’sında nötrofili, 1 (%2,8)’inde monositoz, 13 (%37)’ünde anemi ve 14 (%40) tanesinde sürekli yüksek

ateş tablosu gözlemlenmiştir. Sadece CDV varlığı 21 (%60)’inde saptanırken, 14 (%40)’ünde CDV’ye ilaveten sekonder bakteriyel enfeksiyon varlığı saptanmıştır. Sadece CDV pozitif köpeklerin 4 (%19,05)’ü ve CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerin 6 (%42,86)’sı olmak üzere toplam 10 (%28,57) köpekte ölüm gözlenmiştir. Sadece CDV’li 17 (%80,95) köpek ve CDV + sekonder

bakteriyel enfeksiyonlu 8 (%57,14) köpek olmak üzere toplam 25 (%71,43) köpek uygulanan tedaviye olumlu yanıt vererek sağ kalmıştır. Sekonder bakteriyel enfeksiyonların

eş zamanlı varlığının, CDV'li köpeklerde mortalite oranını arttırdığı görülse de istatistiksel olarak bir anlamlılık saptanmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 3).

Tablo 2. CDV ve sekonder bakteriyel enfeksiyon görülen köpeklerde davranış değişiklikleri ve hemogram değerleri.

Table 2. Behavioral changes and hemogram values in dogs with CDV and secondary bacterial infection.

Open No	Disk	Vasyal	Creative	Older	Defensive	Physical	Technical	Intelligence	Emotional	Interpersonal	Leadership	Communication	Problem Solving	Resilience	Adaptability	Teamwork	Strategic Thinking	Empathy	Motivation	Collaboration	Work Ethic	Negotiation	Learning	Memory	Attention Span	IQ Test	BEC	Average
1	German Shepherd	2	E	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	14.9	10.5	2.5	2.0	23.5	5.02	Yüksek	
2	Rottweiler	2	D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4.2	2.53	1.1	0.56	28.70	4.98	Düşük	
3	Cocker Spaniel	2	D	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	17	10.9	4.53	1.10	31.87	4.90	Yüksek	
4	Cocker Spaniel	2	E	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	2.65	2.0	0.5	30.6	5.70	Düşük	
5	German Shepherd	2	D	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	3.9	2.2	1.02	0.68	28.91	4.40	Düşük	
6	Pinscher	2	E	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	4.6	2.4	1.15	0.75	31.89	5.64	Düşük	
7	Rottweiler	2	E	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	24.2	18.95	6.42	0.18	24.3	4.68	Yüksek	
8	German Shepherd	2	D	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8	2.13	1.28	0.17	25.84	4.96	Düşük	
9	Cocker Spaniel	2	E	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	15.2	10.14	3.01	1.8	29.10	4.61	Yüksek	
10	Labrador	3	E	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	12.8	11.0	1.85	0.71	30.75	5.30	Yüksek	
11	Pinscher	3	D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	13.98	10.1	2.23	1.5	28.66	4.57	Yüksek	
12	Rottweiler	3	E	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	5.9	3.3	2.4	0.3	31.2	7.2	Düşük	
13	German Shepherd	3	E	-	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.3	17.26	2.78	0.16	30.91	6.32	Yüksek	
14	Doberman	3	D	-	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	2.79	2.0	0.11	31.87	5.91	Düşük	
15	Labrador	3	E	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	5.7	2.45	1.85	1.2	30.54	6.58	Düşük	
16	Cocker Spaniel	3	E	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.93	19.24	3.75	1.02	23.93	4.85	Yüksek	
17	Doberman	3	E	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	3.5	1.1	0.3	32.0	5.75	Düşük	
18	Pinscher	3	D	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	5.1	2.6	2.29	0.19	31.94	7.20	Düşük	
19	German Shepherd	3	D	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	12.5	10.7	1.41	0.21	31.85	5.95	Yüksek	
20	Labrador	3	E	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.1	18.80	7.24	0.85	27.68	4.59	Yüksek	
21	Doberman	3	D	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	5.8	2.87	2.42	0.32	30.71	5.65	Düşük	
22	Doberman	4	E	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	4.9	2.34	2.11	0.18	32.20	6.67	Düşük	
23	Labrador	4	D	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	5.5	2.96	2.19	0.25	29.34	6.12	Düşük	
24	Cocker Spaniel	4	E	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	13.4	10.9	1.34	0.87	29.90	5.69	Yüksek	
25	Cocker Spaniel	4	D	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	28.0	17.76	7.80	1.15	27.65	4.57	Yüksek	
26	German Shepherd	4	E	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3	3.01	1.63	0.26	30.14	7.23	Düşük	
27	Pinscher	4	E	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7	2.68	2.45	0.38	30.56	5.89	Düşük	
28	Doberman	4	D	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	5.2	3.04	1.80	0.16	30.92	6.62	Düşük	
29	German Shepherd	4	E	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	5.6	2.50	2.37	0.14	30.74	6.10	Düşük	
30	Rottweiler	5	D	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	5.0	2.63	2.01	0.29	31.63	5.93	Düşük	
31	Rottweiler	5	E	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4.8	2.09	2.0	0.64	28.94	4.69	Düşük	
32	Doberman	5	E	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	5.1	2.48	1.93	0.59	30.15	6.40	Düşük	
33	Cocker Spaniel	6	D	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	5.9	3.28	2.49	0.13	30.72	5.78	Düşük	
34	Labrador	6	D	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	12.6	8.89	3.32	0.36	31.71	6.32	Yüksek	
35	Rottweiler	6	E	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	18.9	12.24	6.40	0.24	30.96	6.47	Yüksek	

Tablo 3. Sekonder bakteriyel enfeksiyon ve mortalite sayısı ve oranı.

Table 3. Number and rate of secondary bacterial infections and mortality.

DURUM	SAYI	ORAN (%)
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon	14	40
CDV + Mortalite	4	11
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon + Mortalite	6	17
Toplam Mortalite	10	28

Sekonder enfeksiyonların daha küçük yaşlarda (2-3 ay) görülme ihtimalinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Yaşlara (ay) göre mortalite ve sekonder enfeksiyon sayısı ve oranı.

Table 4. Number and rate of mortality and secondary infections by age (months).

Durum	2 AY	3 AY	4 AY	5 AY	6 AY	Toplam
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon	4 (%29)	6 (%43)	2 (%14)	0	2 (%14)	14
CDV + Mortalite	3 (%75)	0	0	1 (%25)	0	4
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon + Mortalite	2 (%33)	3 (%50)	1 (%16)	0	0	6
Toplam Mortalite	5 (%50)	3 (%30)	1 (%10)	1 (%10)	0	10

Özellikle Cocker Spaniel (%35,7) olmak üzere bazı ırklarda sekonder enfeksiyon görülme ihtimalinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5). Bunun yanı sıra mortalite oranının ırklara göre farklılık gösterdiği tespit

edilmiştir. Rottweiler ve Cocker Spaniel ırkı köpeklerde en yüksek mortalite oranı (%30) görülürken, Doberman ırkı köpeklerde hiç ölüm gözlenmemiştir. Bu durum, CDV enfeksiyonlarının mortalite oranının farklı köpek ırklarında değişebileceğini düşündürmüştür. Çalışmada CDV tanısı konan köpeklerin 20 (%57)'sinin erkek, 15 (%43)'inin ise dişi olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Irklara göre mortalite ve sekonder enfeksiyon sayısı ve oranı.

Table 5. Number and rate of mortality and secondary infections by race.

DURUM	GERMAN SHEPHERD	ROTTWEILER	COCKER SPANIEL	PINSCHER	LABRADOR	TOPLAM
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon	3 (%21,4)	2 (%14,28)	5 (%35,7)	1 (%7,14)	3 (%21,43)	14
CDV + Mortalite	1 (%25)	2 (%50)	1 (%25)	0	0	4
CDV + Sekonder Bakteriyel Enfeksiyon + Mortalite	0	1 (%16,6)	3 (%50)	1 (%16,6)	1 (%16,6)	6
Toplam Mortalite	2 (%20)	3 (%30)	3 (%30)	1 (%10)	1 (%10)	10

Sadece CDV enfeksiyonlu köpekler ve CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerin davranış

değişiklikleri incelenmiştir (Tablo 6). Klasifikasyonu yapılan davranış değişikliklerinden inleme, koordinasyon bozukluğu ve myoklonus sadece CDV'li köpeklerde; hırlama, huzursuzluk, kasılmalar, dönme hareketi, trismus, epileptik nöbetler ve çılgılık ise CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerde daha yüksek oranda saptanmıştır. Temporal kaslarda tik ise her iki durumda da aynı oranda saptanmıştır.

CDV'li 35 köpeğin tamamında vücut ısısının arttığı ancak CDV + sekonder enfeksiyon gösteren köpeklerde uzun süreli yüksek ateş görüldüğü kaydedilmiştir. Sadece CDV'li köpek yavrularında ise dalgalı ateş gözlenmiştir. Hemogram sonuçlarına göre CDV'li köpeklerde enfeksiyonun ilk saatlerinde WBC değerinin hızlıca düştüğü tespit edilmiştir. Buna karşın, sekonder enfeksiyon gösteren köpeklerde WBC oranının arttığı belirlenmiştir.

Tablo 6. Sadece CDV'li ve CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerin davranış değişikliklerinin görülme sıklığı.

Table 6. Frequency of behavioral changes in dogs with CDV only and CDV + secondary bacterial infection.

	İSTAHSIZLIK	HIRLAMA	İNLEME	HALSİZLİK	HUZURSUZLUK	LETARJİ	DEPRESYON	KOORDİNASYON BOZUKLUĞU	KASILMALAR	DÖNME HAREKETLERİ	TRİSMUS	TEMPORAL KASLARDA TİK	EPİLEPTİK NÖBETLER	MYOKLONUS	ÇİĞLİK
Sadece CDV	21 (%100)	4 (%19)	11 (%52)	21 (%100)	6 (%28,6)	21 (%100)	21 (%100)	7 (%33,3)	7 (%33,3)	0 (%0)	3 (%14,2)	6 (%28,6)	1 (%4,76)	7 (%33,3)	2 (%9,5)
CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyon	14 (%100)	3 (%21,4)*	6 (%42,8)	14 (%100)	6 (%42,8)*	14 (%100)	14 (%100)	4 (%28,6)	6 (%42,8)*	2 (%14,3)*	4 (%28,6)*	4 (%28,6)	6 (%42,9)*	4 (%28,6)	6 (%42,9)*

*CDV+sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerde, sadece CDV enfeksiyonlu köpeklerle göre daha yüksek oranda bulunan davranış değişiklikleri

TARTIŞMA

CDV köpek türleri arasında birden çok sistemi etkileyerek ciddi klinik semptomlara neden olan yaygın enfeksiyöz bir ajandır. Virüsün MSS'de yapmış olduğu lezyonların bir sonucu olarak iştahsızlık, hırlama, inleme, halsizlik, huzursuzluk, letarji, depresyon, koordinasyon bozukluğu, kasılmalar, dönme hareketleri, trismus, temporal kaslarda tik, epileptik nöbetler, myoklonus ve çılgılık gibi semptomlar meydana gelmektedir. CDV enfeksiyonunun kronik safhasında meydana gelen bu bulguların sayısı ve şiddeti köpekler arasında değişebilmektedir (Beineke ve ark 2009, Newbury 2021). Çalışmamızda, CDV enfeksiyonuna sekonder enfeksiyonların katılması sonucunda davranış bozuklarının görülme sıklığının bazı durumlarda artabileceğini gösteren veriler elde edilmiştir.

Öngörülemeyen ve değişken hastalık seyri, CDV'nin doğru teşhisini engelleyebilmektedir. Köpeklerde CDV teşhisi için klinik bulgular, nazal ve konjonktival örnekler ile yapılan hızlı test kitleri ve hemogram sonuçları önemli bir yere sahiptir (Kim ve ark., 2006). Bizim çalışmamızda klinik bulgular, hızlı test kiti yöntemi ve laboratuvar testlerinden yararlanılarak CDV teşhisi konulmuştur. Klinik bulgu olarak köpeklerde dalgalı/sürekli ateş, halsizlik, uyuşukluk, dehidrasyon, iştahsızlık, göz burun akıntısı, anoreksi, depresyon,

keratitis, ishal, kusma, hırıltılı solunum, sinirsel (MSS) semptomlar, inkoordinasyon ve hard pad göz önünde bulundurulmuştur. CDV teşhisi için ticari hızlı test kiti kullanılmıştır. Bakteriyel enfeksiyon sonucu WBC, nötrofil, lenfosit ve monosit yükselmekte, RBC değeri ise düşmektedir (Pekmezci vd., 2022, Willi vd., 2015). Çalışmamızdaki yavru köpeklerde 13 (%37)'ünde WBC (lökosit) değeri yükselirken, 6 (%17)'sında nötrofil, 1 (%2,8)'inde monosit, 13 (%37)'ünde anemi gözlenmiştir. Willi vd., (2015), yapmış olduğu çalışmada CDV'ye bakteriyel enfeksiyonların katılması ile köpeklerde anemi, lökosit, eozinofili, nötrofil ve monosit tablolarının gözlemlendiğini bildirmiştir. WBC (lökosit), nötrofil, lenfosit, monosit ve RBC (eritrosit) parametrelerinin CDV enfekte köpeklerde sekonder bakteriyel enfeksiyon varlığını göstermede belirteç olabilecekleri belirtilmiştir. Bizim çalışmamızdaki sonuçlar bu araştırma ile uyumlu bulunmuştur. Bunun yanı sıra CDV'li köpeklerde dalgalı ateşin, CDV + sekonder bakteriyel enfeksiyonlu köpeklerde ise sürekli ateşin görülmesi belirteç olarak kullanılmıştır (Hoskins, 2010).

CDV enfeksiyonlarında erken tanı önem taşımaktadır. Teşhis ve tedavide geç kalındığı durumlarda mortalite oranı %50'leri bulabilmektedir (Moritz vd., 2000). Hayvanın yaşı, ırkı ve bağışıklık durumu hastalığın seyrini etkilemektedir. CDV'de anormal davranış, koordinasyon bozukluğu, konvülsiyonlar, huzursuzluk,

kasılmalar ve epileptik nöbetler ile karakterize semptomlar meydana geldiği bildirilmiştir (Martinez-Gutierrez vd., 2016; Moritz vd., 2000). Çalışmamızın sonuçları bu bilgilerle uyumlu bulunmuştur. Çalışmaya dahil ettiğimiz köpeklerin tamamında benzer ya da farklı anormal davranış gözlemlense de çalışmamızda mortalite oranının %28,57 olması, Moritz vd., (2000) çalışması ile uyumlu değildir. Çalışmaya dahil edilen köpeklerin bireysel farklılıkları, erken teşhis ve bakım besleme koşulları bu farklılığın sebebi olarak düşünülmüştür.

Pekmezci vd., (2022) araştırmasında farklı ırklardan 22 köpeğin hemogram sonuçları ve hızlı test kitlerine bakılarak CDV varlığı ile davranış bozuklukları araştırılmıştır. Bizim çalışmamızda ise araştırmaya 35 köpek dahil edilmiştir. Aynı çalışmada köpeklerin yaşlarının 2-6 aylık olması bizim çalışmamızla benzerdir. Bu çalışmada 22 CDV'li köpeğin 17'sinde göz akıntısı, 10'unda ise burun akıntısı görülmüştür. Yine aynı çalışmada 9 köpekte iştahsızlık görülmüştür. Bizim çalışma sonuçlarımızda 35 köpeğin tamamında iştahsızlık gözlenmiştir. Sayın ve Erol, (2021) göz burun akıntısı, öksürük, ishal, yorgunluk, dermatit, deri soyulması, kusma, anoreksiya ve kas seğirmesini CDV'nin klinik semptomları arasında göstermiştir. Bizim çalışmamızda inleme, koordinasyon bozukluğu, kas kasılmaları, kas seğirmesi ve myoklonus köpeklerin birçoğunda görülmüştür. İştahsızlık, dehidrasyon, halsizlik, uyuşukluk ve depresyon, hastalığa yakalanan köpeklerin tamamında gözlemlenmiştir.

CDV yavru için yaşamlarının ilk aylarında daha tehlikelidir (Atalay Vural & Alıcı, 2010). Sayın ve Erol, (2021) yapmış oldukları çalışmada 0-6 aylık yavruların yetişkinlere göre daha hassas oldukları ve yaş küçüldükçe mortalite oranının arttığını belirtmişlerdir. Mahajan vd., (2018) farklı yaş gruplarındaki köpeklerde yapmış olduğu çalışmada 0-1 yaş aralığında CDV'nin insidensini %32,98 olarak belirlemiştir. Headley ve Graça, (2000) yapmış oldukları bir çalışmada ise, 0-1.5 yaş köpeklerde CDV prevalansını %62,8 olarak bildirmişlerdir. Sütten yeni kesilmiş köpek yavrularında ise, sütten gelen maternal bağışıklık en düşük seviyede olduğu için CDV enfeksiyonlarının bu yaş grubunda daha yüksek oranda seyrettiği bildirilmiştir (Greene & Appel, 2006, Shabbir vd., 2010.). Elde ettiğimiz bulgular, yavru köpek büyüdükçe iyileşme ihtimalinin artması yaşı, iyileşmeye ve mortalite oranına etkisi olduğunu ortaya koyan bu çalışmaları desteklemektedir.

Ortak yaşam alanları CDV'nin bulaşma dinamikleri açısından kritik bir öneme sahiptir. Barınak gibi kalabalık ortamlarda virüsün bulaş riskinin arttığı bildirilmiştir (Lechner, 2010). Uygun bakım-besleme, düzenli aşılama ve hijyen kurallarına uymanın hastalığa yakalanmamanın yanı sıra hasta köpeklerde ölüm oranını

düşürdüğü tespit edilmiştir (Elia ve ark., 2015; Zacarias ve ark., 2016). Hayvan barınaklarında bireysel barındırılma, yaygın aşılama programları, uygun bakım ve besleme programları gibi bir takım koruyucu yöntemlerle virüs ve bakteriyel enfeksiyonların önlenmesi mümkün olabilmektedir (Şahna vd., 2008). Çalışmaya dahil edilen köpeklerde bu önlemler göz önünde bulundurulmuştur.

Sayın ve Erol, (2021) dişi yavru köpeklerin erkek yavru köpeklere oranla enfeksiyonlara daha sık yakalandığını bildirmiştir (Sayın & Erol, 2021). Bizim çalışmamızda ise CDV tanısı konan köpeklerin 20 (%57)'sinin erkek, 15 (%43)'inin dişi olduğu belirlenmiş ve bu görüşle uyumlu bulunmamıştır. Nitekim Costa vd., (2019) yapmış olduğu meta-analiz çalışmasında cinsiyet değişkeniyle enfeksiyonun herhangi bir ilişkisi olmadığını belirtmiştir.

SONUÇ

Çalışma sonuçları, CDV ve buna bağlı gelişen sekonder bakteriyel enfeksiyonların uygun kontrol programı, düzenli aşılama, ihtiyaca göre bakım-besleme ve hijyen kurallarına uyularak önlenilebileceğini göstermiştir. Viral enfeksiyonlarda, sekonder bakteriyel enfeksiyonların meydana gelmesinin enfeksiyonun şiddetini arttırdığı gözlemlenmiştir. Çalışmada sekonder bakteriyel enfeksiyon meydana gelen CDV'li köpeklerde nörolojik semptomlar ve davranışlar sadece CDV'li köpeklere göre daha yüksek oranda seyretmiştir. Bu da sekonder bakteriyel enfeksiyonların CDV'nin lezyonları sonucu meydana gelen davranış bozukluklarını etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Anormal davranışların erken dönemde fark edilmesi hayvan yetiştiriciliği için ciddi maddi ve manevi kayıplara sebep olan bakteriyel ve viral enfeksiyonların teşhis ve tedavisi için önem taşımaktadır. Köpek Gençlik Hastalığında, sekonder bakteriyel enfeksiyon varlığının hemogram değerleri ve hayvan davranışları üzerine etkilerini araştırarak sınırlı sayıda çalışma olması bu tür araştırmaların önemini artırmaktadır. Sekonder bakteriyel enfeksiyon varlığının CDV prognozunu olumsuz etkilediği ve davranışsal bozuklukların sayısını ve şiddetini arttırdığı kanısına varılmıştır. CDV'nin genç köpeklerde daha şiddetli seyrettiği ve mortalite oranının daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Irklara göre enfeksiyonun şiddetinin ve mortalitesinin değişebileceği düşünülmüştür. Ancak bunun için daha büyük popülasyonlarda ileri çalışmalar gerekmektedir.

Etik Onay: Bu çalışma “Hayvan Deneyleri Etik Kurullarının Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik” 8(k) uyarınca HADYEK'in iznine tabi değildir.

Çıkar Çatışması: Yazarların rapor edecekleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Yazar Katkı Oranları: DKY ve YP çalışmanın proje fikrine, tasarımına ve yürütülmesine katkıda bulundular. YP ve DA verilerin toplanmasına katkıda bulundu. DKY, YP, DA ve MCG verileri analiz ederek taslağı hazırladı ve metni yazdı. DKY, YP, DA ve MCG metni eleştirel bir gözle incelediler. Tüm yazarlar son halini alan makaleyi okudu ve onayladı.

KAYNAKLAR

- Atalay Vural, S. & Alçıgır, M.E. (2010).** Distemper virus-induced apoptotic changes in cerebellum. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 57, 83-86.
- Beadling, C. & Slifka, M.K. (2004).** How do viral infections predispose patients to bacterial infections? *Current opinion in infectious diseases*, 17(3), 185-191.
- Beineke, A., Puff, C., Seehusen, F. & Baumgärtner, W. (2009).** Pathogenesis and immunopathology of systemic and nervous canine distemper. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 127(1-2), 1-18.
- Blancou, J. (2004).** Dog distemper: imported into Europe from South America. *Historia Medicinae Veterinariae*, 29(2), 35-41.
- Carmichael, L.E. & Binn, L.N. (1981).** New canine enteric viral infection. *Adv. Vet. Sci.*, 25, 1-37.
- Carvalho, O.V., Botelho, C.V., Torres Ferreira, C.G. & Scherer, P.O. (2012).** Immunopathogenic and neurological mechanisms of canine distemper virus. *Advances in Virology*, 2012(1), 163860.
- Cho, H. & Park, N. (2005).** Detection of canine distemper virus in blood samples by reverse transcription loop-mediated isothermal amplification. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 52(9), 410-413.
- Costa, V.G.D., Saivish, M.V., Rodrigues, R.L., Lima Silva, R.F.D., Moreli, M.L. & Krüger, R.H. (2019).** Molecular and serological surveys of canine distemper virus: A meta-analysis of cross-sectional studies. *PloS One*, 14(5), e0217594. DOI: 10.1371/journal.pone.0217594
- Elia, G., Camero, M., Losurdo, M., Lucente, M.S., Larocca, V., Martella, V., Decaro, N. & Buonavoglia, C. (2015).** Virological and serological findings in dogs with naturally occurring distemper. *Journal of Virological Methods*, 213, 127-130.
- Gámiz, C., Martella, V., Ulloa, R., Fajardo, R., Quijano-Hernández, I. & Martínez, S. (2011).** Identification of a new genotype of canine distemper virus circulating in America. *Veterinary Research Communications*, 35, 381-390.
- Greene, C.E. & Appel, M.J. (2006).** Canine Distemper. In: *Infectious diseases of dog and cat.*, 3rd ed. Greene, C.E. Saunders Elsevier, St. Louis, Missouri, 25-41pp.
- Harper, E.J., Hackett, R.M., Wilkinson, J. & Heaton, P.R. (2003).** Age-related variations in hematologic and plasma biochemical test results in Beagles and Labrador Retrievers. *J Am Vet Med Assoc.*, 223(10), 1436-42. DOI: 10.2460/javma.2003.223.1436 PMID: 14627092.
- Hart, B.L. & Hart, L.A. (2019).** Sickness behavior in animals: implications for health and wellness. *Encyclopedia of Animal Behavior*, 1.
- Headley, S.A., Graça, D.L., Matiuizi da Costa, M. & Castagna de Vargas, A. (1999).** Infecção pelo vírus da cinomose com pneumonia secundária por Bordetella bronchiseptica em cães. *Ciência Rural*, 29, 741-743.
- Headley, S.A. & Graça, D.L. (2000).** Canine distemper: epidemiological findings of 250 cases. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 37, 136-140.
- Jones, T. & Hunt, R. (1983).** *Veterinary pathology*. Lea and Febiger. Inc., Philadelphia. 904-905.
- Horzinek, M.C. (2010).** Vaccination protocols for companion animals: the veterinarian's perspective. *Journal of Comparative Pathology*, 142, 129-132.
- Hoskins, J.D. (2010).** Canine Viral Disease. In: *Ettinger SJ, Feldman EC, editors. Textbook of Veterinary Internal Medicine: Disease of the Dog and Cat*. 7th ed. Canada, Elsevier, 961-2.
- Elgalfy, G.E., El-Raof, A., Mahmoud, Y., Ghanem, M.M. & El-khaiat, H.M. (2022).** Clinical, Hematological, Acute phase proteins and Radiographic changes in different respiratory affections in dogs and cats. *Benha Veterinary Medical Journal*, 42(1), 80-85.
- Karataş Yeni, D., Paksoy, Y. & Koluman, N. (2024).** *Hayvan Davranışları ve Hastalık Belirteçleri*. Bidge Yayınları, 1. Baskı.
- Kim, D., Jeoung, Y., Ahn, J., Lee, H., Pak, S. & Kwon, H. (2006).** Comparison of tissue and fluid samples for the early detection of canine distemper virus in experimentally infected dogs. *Journal of Veterinary Medical Science*, 68(8), 877-879.
- Koutinas, A.F., Baumgärtner, W., Tontis, D. & Polizopoulou, Z. (2004).** Histopathology and immunohistochemistry of canine distemper virus-induced footpad hyperkeratosis (hard pad disease) in dogs with natural canine distemper. *Veterinary Pathology*, 41(1), 2-9.
- Lechner, E.S., Crawford, P.C., Levy, J.K., Edinboro, C.H., Dubovi, E.J. & Caligiuri, R. (2010).** Prevalence of protective antibody titers for canine distemper virus and canine parvovirus in dogs entering a Florida animal shelter. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 236(12), 1317-1321.

- Martella, V., Elia, G. & Buonavoglia, C. (2008).** Canine distemper virus. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, **38**(4), 787-797.
- Martínez-Gutiérrez, M. & Ruiz-Saenz, J. (2016).** Diversity of susceptible hosts in canine distemper virus infection: a systematic review and data synthesis. *BMC Veterinary Research*, **12**, 78.
- Mahajan, S., Dey, S., Kumar, A., Panigrahi, P. & Karunanithy, M. (2018).** Association and risk of canine distemper with respect to age, sex and breed of dogs suffering from demyelinating neuropathies. *Int. J. Livest. Res.*, **8**, 164-171.
- Moritz, A., Frisk, A.L. & Baumgärtner, W. (2000).** The evaluation of diagnostic procedures for the detection of canine distemper virus infection. *The European Journal of Companion Animal Practice*, **10**, 37-47.
- Newbury, S. (2021).** Canine distemper virus. *Infectious Disease Management in Animal Shelters*, 256-73.
- Nikolic, S., Belic, B., Cincovic, M., Novakov, N., Plavska, N. & Savic, S. (2022).** The effects of biological and health characteristics of dogs on intraindividual variability of blood parameters. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*: **46**(3), Article 3.
- Pekmezci, D., Konaçoğlu, G.N. & Çolak Z.N. (2022).** A Preliminary Study for Determination of Neutrophil to Lymphocyte, Monocyte to Lymphocyte and Platelet to Lymphocyte Ratios in Dogs with Canine Distemper Virus Infection. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. **7**(4), 437-443.
- Reddy, H.T. & Shenoy, B. (2023).** Mechanisms of secondary bacterial infections in viral infections. *Pediatric Infectious Disease*, **5**(4), 126-128.
- Rendon-Marin, S., Budaszewski, R.F., Canal, C.W. & Ruiz-Saenz, J. (2019).** Tropism and molecular pathogenesis of canine distemper virus. *Virology Journal*. **16**, 1-15.
- Rikula, U.K. (2008).** *Canine distemper in Finland: vaccination and epidemiology*.
- Rossiter, P., Williams, E.S., Munson, L. & Kennedy, S. (2001).** Morbilliviral diseases. *Infectious Diseases of Wild Mammals*. 37-76 p.
- Sayın, Y. & Erol, N. (2021).** Investigation of canine distemper virus infection in dogs in the Antalya province. *Animal Health Production and Hygiene*. **10**(2), 45-51.
- Sykes, J.E. & Vandevelde, M. (2021).** *Canine distemper virus infection, in Greene's infectious diseases of the dog and cat*. Elsevier. 271-288p.
- Şahna, K.C., Atalay, Ö. & Gencay Göksu, A. (2008).** Viral etiology of diarrhoea in puppies from a same shelter in Turkey, presence of mixed infections. *Revue de Médecine Vétérinaire*. **159**, 345-347.
- Shabbir, M.Z., Rabbani, M., Ahmad, A., Ahmed, A., Muhammad, K. & Anwar, I. (2010).** Comparative evaluation of clinical samples from naturally infected dogs for early detection of canine distemper virus. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, **34**(6), 547-552.
- Tipold, A., Vandevelde, M. & Jaggy, A. (1992).** Neurological manifestations of canine distemper virus infection. *Journal of Small Animal Practice*, **33**(10), 466-470.
- Willi, B., Spiri, M., Grimm, F. & Meri, M.L. (2015).** Clinical and molecular investigation of a canine distemper outbreak and vector-borne infections in a group of rescue dogs imported from Hungary to Switzerland. *BMC Veterinary Research*. **16**, 114-154.
- Zacarias, J., Dimande, A., Acha, S., Dias, P.T., Leonal, E.M., Messa, A., Macucule, B., Junior, J.L. & Bila, C.G. (2016).** Severe canine distemper outbreak in unvaccinated dogs in Mozambique. *Journal of South African Veterinary Association*, **87**(1), 1350.



Sürdürülebilir Bitki Bazlı Az Yağlı Salata Sos Üretimi

Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK^{1*}

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Geliş Tarihi: 30.10.2024

Kabul Tarihi: 16.01.2025

Basım Tarihi: 31.01.2025

Atıf yapmak için: Tekin Çakmak, Z.H. (2025). Sürdürülebilir Bitki Bazlı Az Yağlı Salata Sos Üretimi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 48-55. <https://doi.org/10.35229/jaes.1576217>

How to cite: Tekin Çakmak, Z.H. (2025). Sustainable Plant-Based Low-Fat Salad Dressing Production. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 48-55. <https://doi.org/10.35229/jaes.1576217>

<https://orcid.org/0000-0002-3369-3128>

***Sorumlu yazarın:**

Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalurji
Fakültesi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı,
İstanbul, Türkiye
✉: hazal.cakmak@yildiz.edu.tr

Öz: Bu çalışma, sıfır atık potansiyelini güçlendirmek için soğuk sıkım bamya tohumu yağı yan ürünlerinin, düşük yağlı vegan salata sosu formülasyonunda doğal yağ ikame maddeleri ve fonksiyonel bileşenler olarak potansiyel kullanımını araştırmayı amaçladı. Bu çalışmada, %30 yağ içeren vegan salata sosu yağlı kontrol olarak ve %10 yağ içeren vegan salata sosu düşük yağlı kontrol olarak ve diğer salata sosları da %10 yağ içeriğinde üretildi. Kontrol dışındaki salata soslarına %1-5 oranında bamya tohumu yağ atığı (BTY) ilave edilerek yağ ikamesi olarak kullanım potansiyeli reolojik özellikleri incelenilerek belirlenmiştir. Salata soslarının akış davranış özellikleri, viskoelastik ve 3 aralıklı tiksotropi testi (3-ITT) reolojik özellikleri ve duyu özellikleri araştırılmıştır. %10 yağ içeriğine sahip ve %3 BTY ile zenginleştirilmiş az yağlı vegan salata sosları (K: 5,733 Pas^a, n:0,207) % 30 yağlı kontrol örneğine (K: 5,853 Pas^a, n:0,218) benzer güçlü psödoplastik ve katı benzeri özellikler göstermiştir. Salata sosu örneklerinin dinamik reolojik özellikleri incelendiğinde, tüm frekans değerleri ile birlikte G', G''den daha yüksek olduğu için tüm örnekler viskoelastik katı davranış gösterdiğini söyleyebiliriz. 3-ITT testine göre, tüm numuneler üçüncü aralıkta tiksotropik davranış göstermiştir. Yüksek kayma deformasyonundan sonra numuneler viskoelastik özelliklerini kaybetmiş ve üçüncü bir aralıkta tekrar kazanmışlardır. Bu bulgular, tüm salata sosu örneklerinin, homojenizasyon veya pompalama gibi büyük miktarda ani deformasyonun yanı sıra çalkalama ve sıkma altında tüketim içeren gıda işleme boyunca viskoelastik karakterlerini koruyabildiğini göstermiştir. Bu çalışma, soğuk sıkım endüstrisinden elde edilen bamya tohumu yağının yan ürünlerin, az yağlı vegan bir salata sosu formülasyonunda fonksiyonel bileşenler ve doğal yağ ikame maddeleri olarak kullanılabileceğini ileri sürmüştür.

Anahtar kelimeler: Bitki bazlı gıda ürünleri, sıfır atık potansiyeli, soğuk sıkım yağ yan ürünü, sürdürülebilir, vegan salata sosu.

Sustainable Plant-Based Low-Fat Salad Dressing Production

Abstract: This study aimed to investigate the potential use of cold-pressed okra seed oil by-products as natural fat replacers and functional ingredients in low-fat vegan salad dressing formulation to enhance the zero-waste potential. In this study, 30% fat vegan salad dressing was produced as fat control, 10% fat vegan salad dressing was produced as low-fat control and other salad dressings were produced with 10% fat content. The potential use of okra seed oil by-product (OSB) as fat replacer was determined by examining the rheological properties of the salad dressings other than the control by adding 1-5% okra seed oil by-product. The flow behavior properties, viscoelastic and 3-interval thixotropy test (3-ITT) rheological properties and sensory properties of the salad dressings were investigated. Low-fat vegan salad dressings with 10% fat content and enriched with 3% OSB (K: 5.733 Pas^a, n: 0.207) showed strong pseudoplastic and solid-like properties similar to the 30% fat control sample (K: 5.853 Pas^a, n: 0.218). When the dynamic rheological properties of the salad dressing samples were examined, it can be said that all samples showed viscoelastic solid behavior since G' was higher than G'' with all frequency values. According to the 3-ITT test, all samples showed thixotropic behavior in the third range. After high shear deformation, the samples lost their viscoelastic properties and regained them in the third range. These findings showed that all salad dressing samples could maintain their viscoelastic character throughout food processing that included large amounts of sudden deformation such as homogenization or pumping as well as consumption under shaking and squeezing. This study suggested that okra seed oil by-products obtained from the cold-pressed industry could be used as functional ingredients and natural fat substitutes in a low-fat vegan salad dressing formulation.

***Corresponding author's:**

Zeynep Hazal TEKİN ÇAKMAK
Yıldız Technical University, Faculty of
Chemistry and Metallurgy, Department of Food
Engineering, İstanbul, Türkiye
✉: hazal.cakmak@yildiz.edu.tr

Keywords: Cold-pressed oil by-product, plant-based food products, sustainable, vegan salad dressing, zero waste potential.

GİRİŞ

Bamya (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), Dünya'nın çeşitli ülkelerinde uzun süredir insan beslenmesinin bir parçası olan çiçekli bir bitkidir (Jarret vd., 2011). Bamya tohumu, yüksek lizin içeriği (Rao, 1985; Al-Wandari, 1983) ve genellikle ticari soya ürünlerini aşan bir protein çözünürlüğü (Bryant vd., 1988) ile hem protein hem de yağ bakımından zengindir. Akingbala vd. (2003) ve Ndangui vd. (2010) tarafından yapılan araştırmaların sonuçlarına göre bamya tohumlarının iyi bir yağ/yağ küspesi ve bitkisel protein kaynağı olduğu belgelenmiştir. Ofori vd. (2020) tarafından bamya tohumunun iki farklı genotipi olan *Agbagoma* ve *Balabi* türlerinin ununun fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri değerlendirilmiştir. *Agbagoma* ve *Balabi* bamya türleri sırasıyla %8,90 ve % 9,00 nem, %16,80 ve %17,40 protein, %47,80 ve %48,00 yağ, %7,70 ve %7,80 kül ve %18,20 ve %18,40 karbonhidrat içerdiği sonucuna varılmıştır. Soğuk sıkım yağ endüstrisi yan ürünlerinden olan bamya tohumu yan ürünlerinin (BTY) karbonhidrat, protein, yağ, nem ve kül içerikleri bir önceki çalışmamızda sırasıyla %44,96, %32,34, 10,21, %7,51 ve %4,98 olarak belirlenmiştir (Akcicek vd., 2024). BTY'nin su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi değerleri 1,33 g su/g BTY ve 0,65 g yağ/g BTY olarak belirlenirken, toplam fenolik içeriği 128,03 mg GAE/100 g ve IDPPH %32,83 olarak belirlenmiştir (Akcicek vd., 2024).

Artan insan nüfusu ve genişleyen oleo-kimyasal sanayi sektörü nedeniyle, bazı yeni ve az kullanılan bitkisel yağ kaynaklarının araştırılması önem taşımaktadır. Ticari düzeyde yağ ekstraksiyonu için kullanılan farklı yöntemler arasında solvent ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraksiyon verimi daha yüksektir; ancak, çıkarılan yağda eser miktarda uçucu organik çözücü kalabilir (Liu vd., 2009). Farklı ekstraksiyon yöntemleri ve teknikleri kullanılarak elde edilen yağ verimleri, yöntemin etkinliğine bağlı olarak değişebilir. Diğer tekniklerle karşılaştırıldığında, soğuk sıkım, yağ veriminin geri kazanılması açısından daha az verimlidir; bununla birlikte, soğuk sıkımla üretilen tohum yağları için daha iyi beslenme, organoleptik ve nutrasötik özellikler rapor edilmiştir (Chew, 2020). Aslında, soğuk sıkım, besin kaybını en aza indiren hammaddenin ısıl işlemini içermez. Ayrıca, geri kazanılan soğuk sıkım yağ, çözücü ekstrakte edilmiş yağa kıyasla, toksik solvent kalıntıları içermediği için daha sağlıklı ve faydalıdır (Ramadan, 2013). Soğuk sıkım işleminden önce nem yağ ekstraksiyonu sırasında ise yağ hammaddenin uzaklaştırıldığı için işlem sonucunda açığa çıkan yan ürünler proteinler ve polisakkaritler açısından zengindir (Tekin-Çakmak vd., 2021b). Kaynaklarımızı en iyi şekilde kullanmak ve gıda zinciri boyunca atık kavramını ortadan kaldırmak için yeni stratejiler geliştirmek önemlidir. Yağ endüstrisi, yağ ekstraksiyon işleminden sonra büyük miktarda yan ürün elde etmektedir. Zengin besin içeriğine

sahip bu yan ürünler çevreye salınmaktadır. Bu yan ürünler, bazı çevre sorunlarına (su, toprak ve hava kirliliği, katı atık yığınları ve biyolojik çeşitliliğin azalması) yol açabilir. Bu nedenle, yemeklik yağ endüstrisinin soğuk sıkımla elde edilen yağ yan ürünlerinin katma değerli ürünlere dönüştürülerek yeni kullanımlarının geliştirilmesi, bunların atık olarak bertaraf edilmesini engelleyecek ve sürdürülebilir ve rekabetçi endüstriyel arzı teşvik edecektir (Mildner-Szkudlarz vd., 2019). Bu çalışma ile soğuk sıkım yağ yan ürünlerinin kullanımına yönelik sürdürülebilir sıfır atık gıda işleme sistemi için bir çerçeve oluşturmak ve insan tüketimi için özelleştirilmiş bitki bazlı gıda ürünleri geliştirmek amaçlanmıştır.

Salata sosu, bir tür yarı katı yağ-su emülsiyonu olarak salataları lezzetlendirmek için kullanılan bir çeşni görevi görür (Depree ve Savage, 2001). Salata sosu, yumurta sarısı, sirke, yağ ve baharatlar gibi birçok bileşenden oluşmaktadır. Bu emülsiyonun yağ yüzdesi tipik olarak %30 ile %80 arasında değişir ve varyasyonlar sos türünün belirli sınıflandırmasına göre belirlenir. Yumurta sarısı, salata sosunun stabilitesini sağlayan bileşenler arasında önemli bir yere sahiptir ve nihai ürünün genel organoleptik özelliklerine katkıda bulunmaktadır (Harrison ve Cunningham, 1985). Bununla birlikte, sağlık ve çevresel kaygılar nedeniyle, özellikle salata sosunun analoglarının oluşturulmasında, yumurtaları bitki bazlı bileşenlerle değiştirmeye yönelik artan bir eğilim olmuştur. Bu nedenle vegan salata üretiminde yumurta sarısına alternatif bir stabilize edici madde bulmak oldukça zordur. Son yıllarda, yumurta sarısına alternatif bitkisel kaynaklar üzerine yapılan çalışmaların sayısı artmaktadır (Hijazi vd., 2022; Karadag vd., 2022). Ayrıca, son yıllarda, tüketiciler daha düşük kalorili gıdalara olan talebini arttırdı ve bu da gıda endüstrisinin çeşitli ürünleri yeniden formüle etme gerekliliğini artırdı. Bu reformülasyon, özellikle yüksek kalori içeren belirli bir bileşenin (şeker veya yağ gibi) azaltılmasını veya doğal olarak türetilmiş bileşenlerin kullanımını sağlarken, gıda güvenliği ve duyu kaliteden ödün vermeden yapılmalıdır (Maruyama vd., 2021). Bu gerekliliklerin yerine getirilmesi, örneğin dondurmalar, sebze ezmeleri (yani, fıstık ezmesi), mayonez ve salata sosları gibi, yağın birincil bileşen olduğu gıda ürünlerinde özellikle zordur, çünkü yağ tekstür gelişimine katkıda bulunan önemli bir rol oynar (Taslihd vd., 2021).

Bu çalışmada, düşük yağlı salata sosu formülasyonlarında doğal yağ ve yumurta ikamesi olarak yüksek protein ve karbonhidrat içeriğine sahip ve fenolikçe zengin soğuk sıkım bamya tohumu yağı yan ürünlerinin potansiyel kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, belirli oranlarda soğuk sıkım bamya tohumu yağı yan ürünlerinin ilave edildiği az yağlı salata sosu örneklerinin reolojik özellikleri incelenmiş ve az yağlı ve çok yağlı kontrol örnekleri ile karşılaştırılarak BTY'nin potansiyel yağ ve

yumurta ikamesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışma, sürdürülebilir gıda üretim politikalarını benimseyerek bitki bazlı gıda ürünleri geliştirirken soğuk sıkım yağ endüstrisinin protein ve karbonhidratça zengin yan ürünlerinin (atıklarını) kullanılarak sıfır atık potansiyelini güçlendirici etkisi de vurgulanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Materyal: Soğuk sıkım banya tohumu yan ürünü (BTY), Oneva Gıda A.Ş. (TÜRKİYE) firmasından satın alındı. BTY, bir laboratuvar değirmeni (PX-MFC 90 D, Kinematica, Maltes ve İsviçre) kullanılarak öğütüldü ve 140 numaralı elekten elendi. Ayçiçek yağı, İstanbul'da yerel bir marketten satın alındı. Ksantan sakızı (XG) ve soya fasulyesi lesitini, Sigma-Aldrich'ten (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, ABD) elde edildi. Tüm salata sosu örnekleri saf su ile hazırlanmıştır.

Salata sosu hazırlanması: Bu çalışmada %30 yağ (Kontrol-1) ve %10 yağ (Kontrol-2) içeren kontrol salata sosları ile %10 yağ ve %1-5 BTY içeren vegan az yağlı salata sosu örnekleri üretilmiştir. İlk olarak, kontrol örnekleri için %0,35 ksantan zımkı 24 °C'de damıtılmış suda çözündürüldü ve daha sonra hidrasyonu tamamlamak için manyetik bir karıştırıcıda 1000 rpm'de karıştırıldı. Bu işlemin ardından emülgatör (%2 soya lesitini) eklenmiş ve manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Kontrol örnekleri dışındaki örnekler ksantan zımkı yerine %1-5 BTY ilave edilerek hazırlanmıştır. Daha sonra ULTRA-TURAX (Daihan HG15A, Gangwondo, Kore) yardımıyla 10.000 rpm'de 3 dakika homojenize edilmiştir (Tekin ve Karasu, 2020).

Reolojik özellikler: Elde edilen salata sosu örneklerinin akış davranışı, dinamik ve 3-ITT reolojik özellikleri, stres ve sıcaklık kontrollü Peltier ısıtma sistemi ile bir reometre (Anton Paar, MCR 302, Avusturya) ile belirlenmiştir. Tüm reolojik analizler 25 °C'de gerçekleştirilmiştir (Akciçek ve Karasu, 2018).

Akış davranışı reolojik özellikleri: Salata sos örneklerinin akış davranışı reolojik özellikleri, paralel plaka konfigürasyonu kullanılarak 0-100 kesme hızı (s^{-1}) aralığında belirlenmiştir ve prob plakası arasında 0,5 mm'lik bir boşluk ayarlandı. Kayma hızına karşılık gelen kesme gerilimi ve görünür viskozite değerleri kaydedildi. Akış davranışının reolojik özelliklerinin parametreleri, Power Law modeli ve doğrusal olmayan regresyon kullanılarak belirlenmiştir (Akciçek ve Karasu, 2018).

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (1)$$

Denklem 1'de, τ ifadesi kayma gerilmesini (Pa), K tutarlılık katsayısını (Pas^n), $\dot{\gamma}$ kayma hızını (s^{-1}) ve n akış davranışı indeksini gösterir.

Dinamik reolojik özellikler: Salata sosu örneklerinin dinamik reolojik özellikleri paralel plaka konfigürasyonu ile belirlenmiştir (Akciçek ve Karasu,

2018). Öncelikle lineer viskoelastik bölgeyi belirlemek için %0,1 ile %100 gerinim arasında stres tarama testi yapılmıştır. Lineer bölge %1 gerinim olarak bulunmuş ve bu değere göre 0.1-64 (ω) açısal hız aralığında frekans tarama testi yapılmıştır. Açısal hızla karşılık gelen depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') değerleri ölçülmüştür. Dinamik reolojik özelliklerle ilgili parametreler, Power-Law modeli ve doğrusal olmayan regresyon kullanılarak belirlenmiştir:

$$G' = K'(\omega)^{n'} \quad (2)$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \quad (3)$$

2 ve 3. denklemlerde G' değeri depolama modülünü (Pa), G'' değeri kayıp modülünü (Pa), ω açısal hız değerini (s^{-1}), K' , K'' tutarlılık katsayısı değerlerini (Pas^n) ve n' , n'' değerleri akış davranışı indeks değerlerini temsil eder.

3-ITT: Salata sosu örneklerinin 3-ITT reolojik özellikleri, sabit kayma hızı değeri olarak $0,5 s^{-1}$ ve değişken kayma hızı değeri olarak $150 s^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Toker vd., 2015). Bu değer numunelerin lineer viskoelastik bölgelerine göre belirlenmiştir. Üç zaman aralığı test uygulamasında ilk zaman aralığında 100 s için $0,5 s^{-1}$ kayma hızına tabi tutulmuştur. İkinci zaman aralığında $150 s^{-1}$ gibi yüksek bir kesme hızı uygulandı. Üçüncü zaman aralığında, numune, geri kazanım eğilimini test etmek için numunenin G' değeri kullanılarak, ilk zaman aralığında tekrar düşük kesme hızı seviyesine maruz bırakılır. İkinci dereceden yapısal kinetik model kullanılmış ve G_0 , G_e ve k değerleri aşağıdaki Denklem (4) ile hesaplanmıştır:

$$\left[\frac{G' - G_e}{G_0 - G_e} \right]^{1-n} = (n-1)kt + 1 \quad (4)$$

Denklem (4)'te, G_0 ($t=0$ 'daki depolama modülünün başlangıç değerleri), G_e ($t \rightarrow \infty$ olarak denge depolama modülü), k (numunenin geri kazanım hızı sabiti) ve ayrıca bu model $n = 2$ belirtilmiştir.

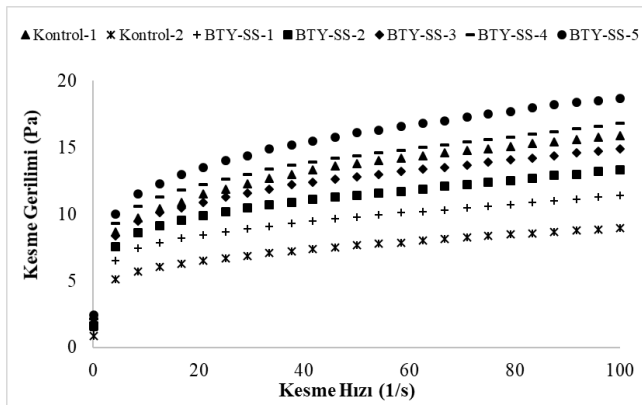
Duyusal analiz: Duyusal analiz, Chung vd. (2012) tarafından çalışmada yer verilen metoda göre modifiye edilerek yapılmıştır. Salata sosu numuneleri, 10 eğitimli panelist tarafından analiz edildi. Panelistlere ürün hakkında bilgi verildikten sonra duyusal değerlendirme için on gram vegan mayonez örnekleri ($n=7$) hazırlandı. Duyusal değerlendirme formu olarak Tablo 4 kullanıldı. Vegan mayonez örneklerinin görünüş, koku, renk, tat, kıvam ve genel kabul edilebilirlik gibi tat kriterleri belirlenmiştir. Duyusal değerlendirmelerde 1'den 9'a kadar puan vermeleri istendi. Hedonik beğenme ölçeği ile değerlendirilmiştir ((1): Kesinlikle sevmiyorum, (2): Çok sevmiyorum, (3): Orta derecede sevmiyorum, (4): Biraz sevmiyorum, (5): Ne seviyorum ne sevmiyorum, (6): Biraz beğendim, (7): Orta derecede beğendim, (8): Çok beğendim ve (9): Aşırı derecede beğendim).

İstatistiksel analiz: Salata sosları 3 tekerrürlü olarak üretilmiş olup, üretilen numunelerde analizler 3 paralel olarak yapılmıştır. Reolojik analizlerden elde edilen

veriler varyans analizine (ANOVA) tabi tutuldu ve %5 güven aralığında Tukey'in çoklu karşılaştırma testleri uygulandı. İstatistiksel uygulamaların yürütülmesinde SPSS paket bilgisayar programı (IBM, ABD) kullanıldı. Güç Yasası modellerinde akış davranışı parametreleri ve dinamik reolojik analizler, doğrusal olmayan regresyon analizleri yardımıyla hesaplandı. Doğrusal olmayan regresyon analizlerini gerçekleştirmek için STATISTICA yazılım programı (Stat Soft Inc., Tulsa, OK, ABD) kullanıldı (Tekin-Çakmak vd., 2021b).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Sürekli kesme reolojik özellikleri: Şekil 1, salata sosu numuneleri için akış eğrilerini (yani kesme hızının bir fonksiyonu olarak kesme gerilimi) göstermektedir. Şekil 1'de görülebileceği gibi, tüm numuneler kayma incilmesi akış davranışı göstermiştir, bu da yağ damlacığının topaklaşmasının mekanizması ile ilgili kesme kaynaklı dramatik yapısal bozulmayı açıkladı (Batista vd., 2006). Bu akış davranışı, salata sosu örnekleri için tipik bir davranıştır (Diftis vd., 2005) ve salata sosu örneklerinin psödoplastik akış sergilediğini göstermektedir. BTY-SS-5, yüksek BTY içeriği (%5) nedeniyle en yüksek psödoplastik özelliği göstermiştir. BTY-SS-5 daha düşük yağ içeriğine sahip olmasına rağmen, bu numune kontrol-1 numunesine kıyasla daha yüksek viskozite değerleri sergilemektedir. Karasu vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada soğuk sıkım üzüm çekirdeği yağı atığının, yağı azaltılmış emülsiyonların üretiminde kullanım olanakları araştırılmış, örneklerin artan kayma hızına bağlı olarak kayma gerilimi değerlerinde azalan artış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Avcı vd., (2024) tarafından sunulan verilere dayanarak, hem protein hem de lif içeren numunelerin aynı kayma hızına tabi tutulduğunda daha büyük kayma gerilimi değerleri sergilediği gözlemlenmiştir. Bu bulgu, protein ve lif ile stabilize edilmiş numunelerin viskozite değerlerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir (Avcı vd., 2024). Bu, protein-lif etkileşiminin sürekli fazı etkili bir şekilde düzenlediğini ve bunun da gelişmiş kayma incelme davranışına yol açtığını göstermektedir.



Şekil 1. Salata sosu örneklerinin sabit kayma reolojik özellikleri.

Figure 1. Steady shear rheological properties of salad dressing samples.

Tablo 1, 7 farklı formülasyonun akış davranışı reolojik ölçümlerinden elde edilen verilerin Power-law modeline göre değerlendirildiğini göstermektedir. Örneklerin deneysel reolojik verileri (R^2 :0,98-0,99) kuvvet yasası modeliyle modellenmiştir. Numunelerin akış tutarlılık indeksi (K) ve akış davranış indeksi (n) değerleri Power-law modeli kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Vegan salata sosu örneklerinin güç kanunu parametreleri.

Table 1. Power law parameters of vegan salad dressing samples.

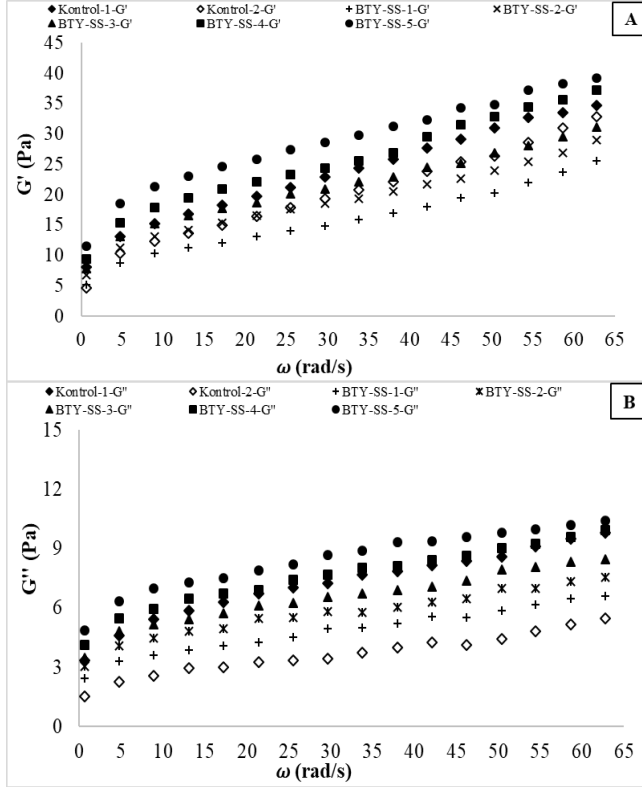
Örnek	BTY (%)	Yağ (%)	K (Pas ⁿ)	n	R ²
Kontrol-1	-	30	5,85±0,02 ^b	0,22±0,02 ^a	0,99
Kontrol-2	-	10	3,34±0,06 ^a	0,21±0,01 ^a	0,99
BTY-SS-1	1	10	4,46±0,06 ^d	0,20±0,01 ^a	0,98
BTY-SS-2	2	10	5,22±0,18 ^c	0,20±0,00 ^a	0,99
BTY-SS-3	3	10	5,73±0,05 ^{bc}	0,21±0,02 ^a	0,99
BTY-SS-4	4	10	6,39±0,11 ^a	0,21±0,00 ^a	0,99
BTY-SS-5	5	10	6,88±0,09 ^a	0,22±0,01 ^a	0,99

BTY: Soğuk sıkım bamyacı tohumu yan ürünü; BTY-SS: Soğuk sıkım bamyacı tohumu yan ürünü içeren salata sosu.

K değerleri 3,34 Pasⁿ'den 6,88 Pasⁿ'a değişti ve n değerleri 0,20-0,22 arasında değişmiştir. Salata soslarının farklı formülasyonlarına bağlı olarak K ve n değerleri farklılık göstermiştir. BTY içeren örnekler arasında BTY miktarı arttıkça değerleri artış göstermiştir. %4 BTY içeren salata sosu örneği (BTY-SS -4: 6,39 Pasⁿ) yağlı kontrol örneğinden (Kontrol-1: 5,85 Pasⁿ) daha fazla K değerine sahiptir. Bu durum, K değerlerinin sadece yağ miktarına değil yan ürün miktarına da bağlı olduğu ile açıklanabilir. Yağ içeriği Kontrol-2 (K değeri: 3,34 Pasⁿ) ile aynı olan BTY-SS-4 örneğinin (4 g BTY/100g salata sosu) K değeri 6,39 Pasⁿ'dir. Bu sonuçlar, yağ içeriğindeki azalmanın bir akış davranışı özelliği olarak BTY ile telafi edilebileceğini göstermiştir. Öte yandan n değerlerinin 1'den küçük olduğu, salata sosu örneklerinin Newtonyen olmayan özellikler gösterdiği, kıvam katsayısının artmasıyla n değerinin azaldığı görülmüştür. Salata soslarında ise n değerinin 0'a yakın olması yani psödoplastik olması istenmektedir. Avcı vd., (2023) tarafından düşük yağlı bir salata sosunda reolojik özelliklerini, emülsiyonunu ve oksidatif kararlılığını iyileştirmek için soğuk sıkım acı biber çekirdeği yağı yan ürününün (HPOB) potansiyel kullanımı üzerine yapılan bir çalışmada HPOB'nin eklenmesi düşük yağlı örneğin K değerini büyük ölçüde artırdı. Bu bulgu, yağ içeriğindeki azalmanın neden olduğu zayıflamış yapının HPOB'nin eklenmesiyle telafi edilebileceğini gösterdi. HPOB yapısındaki protein ve liflerin su tutma özelliği ve protein ile polisakkarit arasındaki çeşitli etkileşimler, sürekli fazın hareketliliğini azaltmış ve örneklerin istenen kıvam seviyesine ulaşmasına neden olmuş olabilir.

Dinamik reolojik özellikleri: Şekil 2, 7 farklı formülasyondan elde edilen salata soslarının dinamik reolojik özelliklerini göstermektedir. Şekil 2'de, hem depolama modülünün (G') hem de kayıp modülünün (G'') büyüklüğü frekansla birlikte artmıştır. Ayrıca tüm numunelerin G' değeri G'' değerinden daha yüksek olduğundan tüm numuneler viskoelastik davranış göstermiştir, bu da topaklanmış ve dolaşmış bir ağırlı jel

benzeri yapısını gösterir (Ma ve Boye, 2013). Genel olarak daha yüksek yağ içeriğine sahip emülsiyonlar aynı zamanda daha yüksek G' değerlerine sahiptir (Ma ve Barbosa-Canovas, 1995). Yüksek yağlı yüksek G' değerlerine sahip emülsiyon örneklerine Akcicek ve Karasu (2018), Akcicek vd. (2022), Avcı vd., (2023), Avcı vd., (2024) ve Tekin-Çakmak vd., 2021a&b tarafından yapılan çalışmalarda rastlanmaktadır.



Şekil 2. Vegan salata sosu örneklerinin viskoelastik davranışı.
Figure 2. Viscoelastic behavior of vegan salad dressing samples.

Bu çalışmada, BTY-SD-5 (5g/100g BTY ve 10g/100g yağ) ve BTY-SD-4 (4g/100g BTY ve 10g/100g yağ), düşük yağ içeriğine sahip olmasına rağmen yüksek yağlı kontrol örneğinden (Kontrol-1, 30gyağ/100g) daha yüksek G' değerlerine sahiptir. Salata sosu örneklerinin jel yapısını güçlendiren formülasyonda yağ ilavesi yerine BTY'nin emülgatör özelliği açıklanmaktadır. Literatürde emülgatör olarak soya fasulyesi (Puppo vd., 2000), acı bakla (Raymundo vd., 2002) ve buğday (Ghoush vd., 2008) gibi bitki bazlı proteinlerin kullanıldığı, BTY'nin %32,34 protein içeriğiyle bir emülgatör görevi gördüğü sonucuna varılabilir.

Salata sosu örneklerinin viskoelastik parametreleri Power-Law modeli kullanılarak hesaplandı (Tablo 2). Tablo 2'de görüldüğü gibi numunelerin K' ve K'' değerleri sırasıyla 3,37-10,82 Pas^n ve 1,14-4,67 Pas^n aralığında, n' ve n'' değerleri ise sırasıyla 0,30-0,52 ve 0,19-0,36 aralığında bulunmuştur (sırasıyla $R^2=0,97-0,99$ ve $R^2=0,97-0,99$). Tüm örneklerde K' değerinin K'' değerinden yüksek olması elastik katı karakterin viskoz karaktere baskın olduğunu göstermektedir.

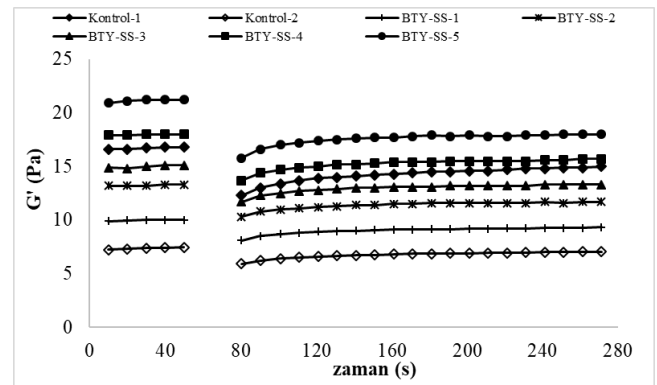
Tablo 2. Vegan salata sosu örneklerinin dinamik reolojik özellikleri.

Table 2. Dynamic rheological properties of vegan salad dressing samples.

Örnek	K'	n'	R^2	K''	n''	R^2
Kontrol-1	5,77±0,7 ^d	0,42±0,03 ^{ab}	0,98	2,99±0,11 ^d	0,27±0,02 ^{ab}	0,99
Kontrol-2	3,52±0,2 ^f	0,52±0,05 ^a	0,99	1,14±0,05 ^f	0,36±0,03 ^a	0,99
BTY-SS-1	3,37±0,7 ^f	0,46±0,03 ^{ab}	0,97	2,02±0,08 ^e	0,27±0,05 ^{ab}	0,97
BTY-SS-2	5,36±0,6 ^e	0,38±0,04 ^{ab}	0,98	2,74±0,01 ^d	0,23±0,01 ^{ab}	0,97
BTY-SS-3	6,82±0,4 ^e	0,35±0,01 ^{ab}	0,98	3,22±0,03 ^c	0,22±0,00 ^b	0,97
BTY-SS-4	7,55±0,1 ^b	0,33±0,05 ^{ab}	0,98	3,76±0,02 ^b	0,22±0,01 ^b	0,98
BTY-SS-5	10,82±0,6 ^a	0,30±0,02 ^b	0,99	4,67±0,07 ^a	0,19±0,00 ^b	0,99

BTY: Soğuk sıkım banya tohumu yan ürünü; BTY-SS: Soğuk sıkım banya tohumu yan ürünü içeren salata sosu.

3 zaman aralıklı tiksotropik test (3-ITT): Ani bir kuvvetin veya deformasyonun gıdanın reolojik özellikleri üzerindeki etkisini gösteren önemli bir test olan 3-ITT, günlük yaşamda gıdanın sallanması ve bastırılması gibi hareketlerin etkisini taklit edebilir (Maphosa ve Jideani, 2018). Salata sosu örnekleri için G' değerinin gelişimi Şekil 3'de gözlenmiştir.



Şekil 3. Vegan salata sosu örneklerinin 3-ITT eğrisi.
Figure 3. 3-ITT curve of vegan salad dressing samples.

Ani bir yer değiştirmenin ardından numunenin iyileşme derecesi Şekil 3'de gösterilmektedir ve uygulanan kesme hızına bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Deformasyon değeri arttıkça her numunenin kendini yenileme kapasitesi azalır. Salata sosu örneklerinin G' değerleri Şekil 3'de gösterildiği gibi zamanla değişmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi ani bir deformasyon nedeniyle numunenin toparlanma derecesi uygulanan kesme hızına bağlı olarak değişmektedir. Deformasyon değeri arttıkça her numunenin kendini yenileme yeteneği azalır. Yani daha yüksek kesme hızına maruz kalan numuneler daha fazla yapısal deformasyona uğradıkça ürünün G' değerinde ciddi bir düşüş gözlemlendi ve tekrar başlangıç G' değerine ulaşamadığı gözlenmiştir. Yapısal iyileşmeye ilişkin parametrelerin, numunelerin iyileşme düzenine kıyasla daha doğru bir şekilde elde edilmesi gerekmektedir.

Tablo 3, 3-ITT testinden elde edilen verilerin ikinci dereceden yapısal kinetik model ve elde edilen G_0 , G_e ve k değerleri ile modellendiğini göstermektedir. Tablo 3'te her bir G_0 ve G_e değeri farklı olduğundan, ürünlerin geri kazanım derecelerinin karşılaştırılması bu iki değer (G_e/G₀) oranına dayanmaktadır (Tekin-Çakmak vd., 2021a). Tablo 3'te G_e/G_0 değerleri 1,271 ile 1,351 arasında değişmektedir. Hem yağ içeriğinin hem de yan ürün miktarının G_e/G_0 değerlerine etkisinin önemli olduğu görüldü ($p<0,05$). G_e/G_0 oranının ürünün geri kazanım

derecesi hakkında fikir verdiği dikkate alındığında, yağ miktarının artmasıyla G_e/G_0 oranının artması beklenen bir sonuçtur ancak BTY ilavesiyle artması da olumlu bir sonuçtur.

Tablo 3. Vegan salata sosu örneklerinin 3-ITT reolojik özellikleri
Table 3. 3-ITT rheological properties of vegan salad dressing samples

Örnek	G_0	G_e	k	G_e/G_0	k^*1000	R^2	G_i
Kontrol-1	11,47	15,5	0,073	1,348	73,18	0,99	16,80
Kontrol-2	5,49	7,25	0,035	1,320	35,35	1,00	7,45
BTY-SS-1	7,44	9,46	0,052	1,271	52,40	1,00	10,00
BTY-SS-2	9,36	11,99	0,056	1,280	56,37	1,00	13,30
BTY-SS-3	10,49	13,49	0,070	1,286	69,82	1,00	15,10
BTY-SS-4	12,28	15,87	0,067	1,293	67,39	1,00	18,00
BTY-SS-5	13,48	18,21	0,097	1,351	96,53	1,00	21,20

BTY: Soğuk sıkım bamyâ tohumu yan ürünü; BTY-SS: Soğuk sıkım bamyâ tohumu yan ürünü içeren salata sosu

3-ITT test verilerinde elde edilen bir diğer parametre ise k değeridir. K değeri, ürünün ani deformasyon sonrasında toparlanma oranını gösterir. Bu durum ürünün yapısıyla ilgilidir. Üründe kalıcı bir deformasyon

gözlenmezse ürünün iyileşme hızı daha yüksek olacaktır. Bu kadar hızlı bir şekilde G' değeri istenilen seviyeye yani başlangıç değerine ulaşacaktır. $k \times 1000$ değeri 35,35 ile 96,53 arasında değişmektedir (Tablo 3). Tablo 3'te gösterildiği gibi az yağlı salata soslarında yan ürün (BTY) miktarı arttıkça k değeri de artmıştır. 3-ITT testi, geri kazanım düzeyi tam yağlı salata sosuna benzer olan az yağlı salata sosunun BTY zenginleştirilmesi ile üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Avcı vd., (2023) tarafından yapılan çalışmada 3-ITT testi, HPOB zenginleştirilmesi ile toparlanma düzeyi tam yağlı salata sosuna benzer olan düşük yağlı salata sosunun üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Duyusal analiz sonuçları: Tablo 4'te görüldüğü üzere, Görünüş, Renk, Koku, Tat, Kıvam ve Genel Kabul Edilebilirlik gibi duysal kalite kriterlerine verilen puanlar incelenmiştir.

Tablo 4. Duyusal analiz sonuçları.

Table 4. Sensory analysis results.

Örnek	Görünüş	Renk	Koku	Tat	Kıvam	Genel kabul edilebilirlik
Kontrol-1	8,71±0,45 ^a	8,86±0,35 ^a	9,00±0,00 ^a	9,00±0,00 ^a	8,71±0,45 ^{ab}	8,71±0,45 ^a
Kontrol-2	8,57±0,49 ^a	8,71±0,45 ^a	8,86±0,35 ^a	8,86±0,35 ^a	5,29±0,70 ^d	6,29±0,45 ^d
BTY-SS-1	7,86±0,64 ^a	8,14±0,64 ^a	8,43±0,73 ^a	8,00±0,53 ^b	6,71±0,45 ^c	6,86±0,64 ^{cd}
BTY-SS-2	7,79±0,36 ^a	7,93±0,56 ^a	8,21±0,36 ^a	7,71±0,45 ^b	8,14±0,35 ^b	8,29±0,45 ^{ab}
BTY-SS-3	6,57±0,49 ^b	6,86±0,64 ^b	7,14±0,35 ^b	7,29±0,45 ^b	8,43±0,49 ^{ab}	8,00±0,76 ^{ab}
BTY-SS-4	6,14±0,83 ^{bc}	6,00±0,53 ^{bc}	6,43±0,39 ^{bc}	6,50±0,46 ^c	8,57±0,49 ^{ab}	7,43±0,73 ^{bc}
BTY-SS-5	5,64±0,44 ^c	5,21±0,52 ^c	5,86±0,64 ^c	5,79±0,52 ^c	9,00±0,00 ^a	7,71±0,70 ^{abc}

BTY: Soğuk sıkım bamyâ tohumu yan ürünü; BTY-SS: Soğuk sıkım bamyâ tohumu yan ürünü içeren salata sosu.

Aynı sütündeki farklı harfler (a-d) salata sosu örnekleri arasında anlamlı derecede farklıdır ($p < 0,05$).

Tat, Renk ve Görünüş kriteri dışındaki tüm kalite kriterlerinde en yüksek puan BTY-SS-5 numunesine aitken, en düşük puan Kontrol-2 örneğine aittir. En düşük kıvam değerleri BTY-SS-1 ve Kontrol-2 örnekleri sahipken, BTY miktarı arttıkça kıvam sonuçları da artış göstermiştir en iyi örnek BTY-SS-5 numunesidir. BTY'deki protein ve karbonhidrat içeriği, salata sosu örneklerinin doku ve kıvam özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir.

SONUÇ

Yağların soğuk sıkımı sırasında biyoaktif kimyasallar, lif ve protein açısından zengin olan yan ürünler ortaya çıkar. Soğuk sıkım yağ üreticilerinin karşılaştığı temel zorluk, ortaya çıkan yan ürünlerin önemli katma değere sahip kaynaklara dönüştürülmesidir. Bu çalışma, yağı azaltılmış bitki bazlı salata sosunun reolojik özelliklerini iyileştirmede BTY kullanım potansiyelini araştırmayı amaçlamaktadır. Salata sosu örneklerinin dinamik reolojik özellikleri incelendiğinde, tüm frekans değerlerinde G' değeri G'' değerinden yüksek olduğundan tüm örnekler viskoelastik katı davranışı sergilemektedir. 3-ITT testine göre tüm numuneler üçüncü aralıkta tiksotropik davranış göstermiştir. Yüksek kayma deformasyonu sonrasında numuneler viskoelastik özelliklerini kaybetmiş ve üçüncü bir aralıkta yeniden kazanmışlardır. Bu bulgular,

tüm salata sosu örneklerinin, çalkalama ve sıkma altında tüketimin yanı sıra homojenleştirme veya pompalama gibi büyük miktarda ani deformasyon dahil olmak üzere gıda işleme boyunca viskoelastik karakterini koruduğunu göstermiştir. Bu çalışma ile soğuk sıkım yağ yan ürünlerinin kullanımına yönelik sürdürülebilir sıfır atık gıda işleme sistemi için bir çerçeve oluşturmak ve insan tüketimi için özelleştirilmiş bitki bazlı gıda ürünleri geliştirmek amaçlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Akcicek, A. & Karasu, S. (2018).** Utilization of cold pressed chia seed oil waste in a low-fat salad dressing as natural fat replacer. *Journal of Food Process Engineering*, 41(5), e12694. DOI: [10.1111/jfpe.12694](https://doi.org/10.1111/jfpe.12694)
- Akcicek, A., Yildirim, R.M., Tekin-Cakmak, Z.H. & Karasu, S. (2022).** Low-fat salad dressing as a potential probiotic food carrier enriched by cold-pressed tomato seed oil by-product: rheological properties, emulsion stability, and oxidative stability. *ACS Omega*, 7(51), 48520-48530. DOI: [10.1021/acsomega.2c06874](https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06874)
- Akcicek, A., Özgölet, M., Tekin-Cakmak, Z.H., Karasu, S., Duran, E. & Sagdic, O. (2024).** Cold-pressed okra seed oil byproduct as an ingredient for muffins to decrease glycemic index, maillard

- reaction, and oxidation. *ACS Omega*, **9**(7), 7491-7501. DOI: [10.1021/acsomega.3c06027](https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06027)
- Akingbala, J.O., Akinwande, B.A. & Uzo Peters, P.I. (2003).** Effects of color and flavor changes on acceptability of ogi supplemented with okra seed meals. *Plant Foods for Human Nutrition*, **58**, 1-9. DOI: [10.1023/B:QUAL.0000040354.96979.f2](https://doi.org/10.1023/B:QUAL.0000040354.96979.f2)
- Al-Wandari, H. (1983).** Chemical composition of seeds of two okra cultivars. *Journal of Agricultural of Food Chemistry*, **31**, 1355-1358. DOI: [10.1021/JF00120A051](https://doi.org/10.1021/JF00120A051)
- Avci, E., Tekin Cakmak, Z.H., Ozgolet, M., Karasu, S., Kasapoglu, M.Z., Ramadan, M.F. & Sagdic, O. (2023).** Capsaicin Rich Low-Fat Salad Dressing: Improvement of Rheological and Sensory Properties and Emulsion and Oxidative Stability. *Foods*, **12**(7), 1529. DOI: [10.3390/foods12071529](https://doi.org/10.3390/foods12071529)
- Avci, E., Akcicek, A., Tekin Cakmak, Z.H., Kasapoglu, M.Z., Sagdic, O. & Karasu, S. (2024).** Isolation of Protein and Fiber from Hot Pepper Seed Oil Byproduct To Enhance Rheology, Emulsion, and Oxidative Stability of Low-Fat Salad Dressing. *ACS Omega*, **9**(9), 10243-10252. DOI: [10.1021/acsomega.3c07410](https://doi.org/10.1021/acsomega.3c07410)
- Batista, A.P., Raymundo, A., Sousa, I., Empis, J. & Franco, J.M. (2006).** Colored food emulsions- Implications of pigment addition on the rheological behavior and microstructure. *Food Biophys*, **1**, 216-227. DOI: [10.1007/s11483-006-9022-3](https://doi.org/10.1007/s11483-006-9022-3)
- Bryant, L. A., Montecalvo, J., Morey, K. S. & Loy, B. (1988).** Processing, functional, and nutritional properties of okra seed products. *Journal of Food Science*, **53**, 810-816. DOI: [10.1111/j.1365-2621.1988.tb08960.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb08960.x)
- Chew, S.C. (2020).** Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality. *Food Research International*, **131**, 108997. DOI: [10.1016/j.foodres.2020.108997](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108997)
- Chung, L., Chung, S.J., Kim, J.Y., Kim, K.O., O'Mahony, M., Vickers, Z., ... & Kim, H.R. (2012).** Comparing the liking for Korean style salad dressings and beverages between US and Korean consumers: Effects of sensory and non-sensory factors. *Food Quality and Preference*, **26**(1), 105-118.
- Depree, J.A. & Savage, G.P. (2001).** Physical and flavour stability of mayonnaise. *Trends Food Sci. Technol.*, **12**, 157-163. DOI: [10.1016/S0924-2244\(01\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00079-6)
- Diftis, N., Biliaderis, C. & Kiosseoglou, V. (2005).** Rheological properties and stability of model salad dressing emulsions prepared with a dry-heated soybean protein isolate-dextran mixture. *Food Hydrocolloids*, **19**, 1025-1031. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2005.01.003](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.01.003)
- Ghoush, M.A., Samhouri, M., Al-Holy, M. & Herald, T. (2008).** Formulation and fuzzy modeling of emulsion stability and viscosity of a gum-protein emulsifier in a model mayonnaise system. *Journal of Food Engineering*, **84**, 348-357. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2007.05.025](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.05.025)
- Harrison, L.J. & Cunningham, F.E. (1985).** Factors influencing the quality of mayonnaise: a review. *Journal of Food Quality*, **8**, 1-20. DOI: [10.1111/j.1745-4557.1985.tb00828.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1985.tb00828.x)
- Jarret, R.L., Wang, M.L. & Levy, I.J. (2011).** Seed oil and fatty acid content in okra (*Abelmoschus esculentus*) and related species. *Journal of agricultural and food chemistry*, **59**(8), 4019-4024. DOI: [10.1021/jf104590u](https://doi.org/10.1021/jf104590u)
- Karadag, A., Kayacan Cakmakoglu, S., Metin Yildirim, R., Karasu, S., Avci, E., Ozer, H., & Sagdic, O. (2022).** Enrichment of lecithin with phenolics from olive mill wastewater by cloud point extraction and its application in vegan salad dressing. *Journal of Food Processing and Preservation*, **46**(7), e16645. DOI: [10.1111/jfpp.16645](https://doi.org/10.1111/jfpp.16645)
- Karasu, S., Çetin, B., & Toker, Ö. S. (2018).** Soğuk Pres Üzüm Çekirdeği Yağı Atığının Düşük Yağlı Yağ/Su Emülsiyonların Reolojik Özelliklerine Etkisi. *Akademik Gıda*, **16**(1), 27-32. DOI: [10.24323/akademik-gida.415646](https://doi.org/10.24323/akademik-gida.415646)
- Liu, G., Xu, X., Hao, Q.F. & Gao, Y.X. (2009).** Supercritical CO₂ extraction optimization of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, **42**, 1491-1495. DOI: [10.1016/j.lwt.2009.04.011](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.04.011)
- Ma, L. & Barbosa-Cánovas, G. (1995).** Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal Food Engineering*, **25**, 409-425. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)00010-7](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)00010-7)
- Ma, Z. & Boye, J.I. (2013).** Advances in the design and production of reduced-fat and reduced-cholesterol salad dressing and mayonnaise: a review. *Food and Bioprocess Technology*, **6**, 648-670. DOI: [10.1007/s11947-012-1000-9](https://doi.org/10.1007/s11947-012-1000-9)
- Maphosa, Y. & Jideani, V. A. (2018).** Factors affecting the stability of emulsions stabilised by biopolymers. *Science and Technology Behind*

- Nanoemulsions, 65. DOI: [10.5772/intechopen.75308](https://doi.org/10.5772/intechopen.75308)
- Maruyama, S., Streletskaia, N.A. & Lim, J. (2021). Clean label: Why this ingredient but not that one?. *Food Quality and Preference*, 87, 104062. DOI: [10.1016/j.foodqual.2020.104062](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104062)
- Mildner-Szkudlarz, S., Rózańska, M., Siger, A., Kowalczewski, P.L. & Rudzińska, M. (2019). Changes in chemical composition and oxidative stability of cold-pressed oils obtained from by-product roasted berry seeds. *LWT-Food Science and Technology*, 111, 541-547. DOI: [10.1016/j.lwt.2019.05.080](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.080)
- Ndangui, C.B., Kimbonguila, A., Nzikou, J.M., Matos, L., Pambou, N.P.G., Abena, A.A., Silou, T., Scher, J. & De Sobry, S. (2010). Nutritive Composition and Properties Physico-chemical of gumbo (*Abelmoschus esculentus* L.) Seed and Oil. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 2(1), 49-54. DOI: [10.47278/journal.ijab/2022.040](https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2022.040)
- Ofori, J., Tortoe, C. & Agbenorhevi, J.K. (2020). Physicochemical and functional properties of dried okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seed flour. *Food Science and Nutrition*, 8, 4291-4296. DOI: [10.1002/fsn3.1725](https://doi.org/10.1002/fsn3.1725)
- Puppo, M.C., Sorgentini, D. & Anon, M. (2000). Rheological study of dispersions prepared with modified soybean protein isolates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, 63-71. DOI: [10.1007/s11746-000-0010-z](https://doi.org/10.1007/s11746-000-0010-z)
- Ramadan, M.F. (2013). Healthy blends of high linoleic sunflower oil with selected cold pressed oils: Functionality, stability and antioxidative characteristics. *Industrial Crops and Products*, 43, 65-72. DOI: [10.1016/j.indcrop.2012.07.013](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.013)
- Rao, P.U. (1985). Chemical composition and biological evaluation of okra (*Hibiscus esculentus*) seeds and their kernels. *Plant Foods for Human Nutrition*, 35, 389-396. DOI: [10.1007/BF01091784](https://doi.org/10.1007/BF01091784)
- Raymundo, A., Franco, J., Empis, J. & Sousa, I. (2002). Optimization of the composition of low-fat oil-in-water emulsions stabilized by white lupin protein. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 783-790. DOI: [10.1007/s11746-002-0559-6](https://doi.org/10.1007/s11746-002-0559-6)
- Hijazi, T., Karasu, S., Tekin Çakmak, Z. H. & Bozkurt, F. (2022). Extraction of Natural Gum from Cold-Pressed Chia Seed, Flaxseed, and Rocket Seed Oil By-Product and Application in Low Fat Vegan Mayonnaise. *Foods*, 11(3), 363. DOI: [10.3390/foods11030363](https://doi.org/10.3390/foods11030363)
- Taslikh, M., Mollakhalili-Meybodi, N., Alizadeh, A.M., Mousavi, M.M., Nayeibzadeh, K. & Mortazavian, A.M. (2022). Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 2108-2116. DOI: [10.1007/s13197-021-05133-1](https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1)
- Tekin Çakmak, Z.H., Atik, I. & Karasu, S. (2021a). The potential use of cold-pressed pumpkin seed oil by-products in a low-fat salad dressing: the effect on rheological, microstructural, recoverable properties, and emulsion and oxidative stability. *Foods*, 10(11), 275. DOI: [10.3390/foods10112759](https://doi.org/10.3390/foods10112759)
- Tekin Çakmak, Z.H., Karasu, S., Kayacan-Çakmakoglu, S. & Akman, P.K. (2021b). Investigation of potential use of by-products from cold-press industry as natural fat replacers and functional ingredients in a low-fat salad dressing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(8), e15388. DOI: [10.1111/jfpp.15388](https://doi.org/10.1111/jfpp.15388)
- Toker, O.S., Karasu, S., Yilmaz, M.T. & Karaman, S. (2015). Three interval thixotropy test (3ITT) in food applications: A novel technique to determine structural regeneration of mayonnaise under different shear conditions. *Food Research International*, 70, 125-133. DOI: [10.1016/j.foodres.2015.02.002](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.02.002)



Evaluation of Fatty Acid Profile and Fatty Acid-Related Nutritional Quality Indices of Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*)

Nida DEMİRTAŞ^{1*}

¹Munzur University, Faculty of Fisheries, Department of Fisheries and Seafood Processing Technology, Tunceli, Türkiye

Received: 22.10.2024

Accepted: 17.01.2025

Published: 31.01.2025

How to cite: Demirtaş, N. (2025). Evaluation of Fatty Acid Profile and Fatty Acid-Related Nutritional Quality Indices of Zebra Mussel (*Dreissena polymorpha*). *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(1), 56-62. <https://doi.org/10.35229/jaes.1571832>

Atıf yapmak için: Demirtaş, N. (2025). Zebra Midyesinin (*Dreissena polymorpha*) Yağ Asidi Profili Ve Yağ Asidine Bağlı Besinsel Kalite İndekslerinin Değerlendirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(1), 56-62. <https://doi.org/10.35229/jaes.1571832>

<https://orcid.org/0000-0001-8323-5689>

***Corresponding author's:**

Nida DEMİRTAŞ
Munzur University, Faculty of Fisheries,
Department of Fisheries and Seafood
Processing Technology, Tunceli, Türkiye
✉: ndemirtas@munzur.edu.tr

Abstract: Essential omega-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFAs) are vital to human health and prevent a range of ailments; mussels are a good source of these PUFAs. The objective of this study was to evaluate the potential of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) as a functional food by measuring the fatty acid composition and nutritional quality parameters. Lipid amount, fatty acid composition and nutritional quality indices was determined in the oil of zebra mussel with solvent extraction and the potential of zebra mussel as nutraceutical and pharmaceutical was evaluated. Although its low lipid content zebra mussel displayed FA profiles that were beneficial to human health. Major fatty acid group in the zebra mussel was SFAs and it was followed by MUFA and PUFA groups. Sum of EPA and DHA amounts were 14.05 ± 1.36 . Besides, n-6/n-3 ratio of zebra mussel was 0.09. PUFA/SFA ratio of zebra mussel was 0.36. AI, TI and HH values were 0.60, 0.45 and 1.09, respectively. The current study indicated the lipid quality and beneficial fatty acids of zebra mussels for evaluation as functional dietary components.

Keywords: Zebra mussel, fatty acid profile, nutritional quality indices, nutraceutical, pharmaceutical.

Zebra Midyesinin (*Dreissena polymorpha*) Yağ Asidi Profili Ve Yağ Asidine Bağlı Besinsel Kalite İndekslerinin Değerlendirilmesi

Öz: Esansiyel omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (n-3 PUFA'lar) insan sağlığı için hayati öneme sahiptir ve bir dizi rahatsızlığı önler; midyeler bu PUFA'ların iyi bir kaynağıdır. Bu çalışmanın amacı, yağ asidi bileşimini ve besin kalitesi parametrelerini ölçerek zebra midyesinin (*Dreissena polymorpha*) fonksiyonel bir gıda olarak potansiyelini değerlendirmektir. Zebra midyesi yağında çözücü ekstraksiyonla lipid miktarı, yağ asidi bileşimi ve besin kalitesi endeksleri belirlendi ve zebra midyesinin nutrasötik ve farmasötik olarak potansiyeli değerlendirildi. Zebra midyesi düşük lipid içeriğine rağmen insan sağlığına faydalı olan yağ asidi profilleri gösterdi. Zebra midyesindeki majör yağ asidi grubu SFA'lar olup bunu MUFA ve PUFA grupları izledi. EPA ve DHA miktarlarının toplamı $14,05 \pm 1,36$ olarak bulundu. Ayrıca zebra midyesinin n-6/n-3 oranı 0,09 olarak bulundu. Zebra midyesinin PUFA/SFA oranı 0,36 olarak bulundu. AI, TI ve HH değerleri sırasıyla 0,60, 0,37 ve 1,09'du. Mevcut çalışma, zebra midyelerinin lipid kalitesini ve yararlı yağ asitlerini işlevsel diyet bileşenleri olarak değerlendirmeye işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Zebra midye, yağ asidi profili, besin kalitesi endeksleri, nutrasötik, farmasötik.

***Sorumlu yazar:**

Nida DEMİRTAŞ
Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,
Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü,
Tunceli, Türkiye
✉: ndemirtas@munzur.edu.tr

INTRODUCTION

Marine habitats provide a wealth of nutrient-rich food that is essential to human health and wellness. Many governments and dietary standards encourage increasing the consumption of seafood since it offers a variety of essential nutrients that are typically lacking in daily diets (Biandolini et al., 2023). The evolution of marine organisms and their specific physiological and biochemical adaptations has led to a rich molecular diversity of chemical compounds, which provides a promising opportunity for the discovery of novel bioactive compounds with novel structures and novel biological activities (Zhukova, 2014). The class Bivalvia is extensively studied within the phylum Mollusca, and it holds significant importance for numerous reasons. In addition to being commercially valuable as a food for humans and for feeding certain marine crustaceans, the biological and pharmacological applications of the polyunsaturated fatty acids (PUFA) found in these mollusks are of significant interest. Mussels are rich in omega-6 and omega-3 fatty acids, as well as saturated, monounsaturated, and other polyunsaturated fatty acids. These qualities make mussels a low-fat diet with significant bioactive capabilities (Moniruzzaman et al., 2021). The distribution of freshwater bivalves is very diverse worldwide. Because of their biological filtration function, these mussels are extremely valuable to the freshwater ecology. They serve as a trophic bridge connecting higher trophic species with primary production (Keskinbalta & Çelik, 2020).

Numerous chemical researchers have experimented with marine mollusks in an effort to isolate and identify novel natural compounds (Zhukova, 2014). So that, it is feasible to use some unusual sources of minerals, proteins, lipids, and carbohydrates to create foods with high nutritional value (Ullah et al., 2021). One of these, the freshwater zebra mussel (*Dreissena polymorpha*), has significant nutrients (protein, fat, and minerals (Nalepa et al., 1993), but it is just unutilized to create foods with nutritional value. Besides, the zebra mussel, through its excessive growth, obstructs the channels in dam lakes, restricting water flow. Furthermore, this species lacks any economic benefit.

Consumers, who are becoming more concerned with adopting a healthier diet, have taken a keen interest in food products' fatty acid (FA) profiles. FAs are among the most significant natural, physiologically active substances. EPA and DHA, two types of n-3 PUFAs, are essential for numerous metabolic and physiological processes and can be found in virtually every cell membrane (Biandolini et al., 2023). Clinical and epidemiological research has eventually found a correlation between meat and fish oil consumption and a reduced risk of cardiovascular disease.

The heart responds strongly to eicosapentaenoic (EPA) and docosahexaenoic (DHA) fatty acids' significant antiarrhythmic and antithrombotic effects. Under typical circumstances, the maintenance of cell membranes, brain functions, and nerve impulse transmission require linoleic (AA) and linolenic (ALA) acids (Cavali et al., 2022). FAs can be helpful or harmful in diagnosing, treating, and preventing disease. For instance, PUFAs may positively affect MS patients while SFAs may increase the likelihood of acquiring multiple sclerosis (MS) and the course of the disease. Another illustration is that some key FA metabolites may have beneficial effects on health, such as neuroprotection and anti-inflammation, but they may also have detrimental effects, such as inflammation, necrosis promoters, and atherosclerosis. FAs are often derived via a variety of dietary sources, which have a particular FA composition and subsequently affect health outcomes. In this light, it is important to evaluate the FA composition to establish its nutritional and/or therapeutic significance, particularly in fatty-acid-rich foods, dietary supplements, and herbal remedies (Chen & Liu, 2020).

Lipid damage, caused by the hydrolysis and oxidation of the lipid portion, is one of several processes that can cause fish to degrade while being stored on ice. This can result in significant nutritional value and quality losses during chilled storage. The health lipid indices of atherogenicity (AI, demonstrating the inhibition of the aggregation of plaque and lowering the levels of esterified FA, cholesterol, and phospholipids, thereby preventing the emergence of micro- and macro-coronary diseases) and thrombogenicity (TI, demonstrating the propensity to form clots in the blood vessels) are proposed to assess the nutritional quality of lipids in fish (Simat et al., 2015).

Therefore, the aim of this study was to determine the potential of Zebra mussel (*Dreissiana polymorpha*) as a nutraceutical and pharmaceutical ingredient by evaluating fatty acid profile and nutritional quality indices.

MATERIAL AND METHOD

Raw material: Zebra mussels (*D. polymorpha*) were obtained from the Keban Dam Lake. They were placed in ventilated plastic containers in ice and immediately transported to the laboratory. Whole bodies of zebra mussels were dissected, and lipid extraction was performed.

Lipid extraction: Lipid extraction from zebra mussels was performed according to the method of (Bligh & Dyer, 1959). The lipid in the sample is extracted by a polar solvent mixture of chloroform, and methanol (2:1), which gives a one-phase system. The sample was weighed, and a chloroform: methanol mixture was added. Thereafter, CaCl_2 was added to the chloroform: methanol mixture and left in the dark overnight. The chloroform:

methanol phase was separated from the CaCl_2 phase the day after. The chloroform: methanol was evaporated in a rotary evaporator (R210, Buchi). Then the sample is put into an oven to remove moisture. The fat content is determined in an aliquot of the chloroform phase by weighing the lipids after evaporation of the solvent and removing moisture. The method will extract both neutral and polar lipids.

Fatty acid composition: COI/T.20/Doc. No 33 method was used for the determination of fatty acid methyl esters (FAME) (OIC, 2017). A 37-component mixture of FAME (Supelco) has been chosen as the standard for retention time to identify the fatty acids. The area ratio, which is under the relevant peak, was used for the quantitative analysis. An Agilent 6890 GC-FID system was used for FAME analysis. The column was an Agilent HP-88 capillary column (100 m x 0.25 mm ID x 0.2 μm). The split ratio was 1:100 injection and detector temperatures were 250°C and 260°C, respectively. The temperature program was as follows; the oven temperature is held at 120°C for 1 min and then increased to 240°C at a rate of 4°C min⁻¹ and hold for 5 min.

$$\text{AI} = \frac{(\text{C12:0} + 4 \times \text{C14:0} + \text{C16:0})}{(\Sigma \text{MUFA} + \Sigma (\text{n-6}) + \Sigma (\text{n-3}))}$$

$$\text{TI} = \frac{(\text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0})}{[(0.5 \times \Sigma \text{MUFA} + 0.5 \times (\text{n-6}) + 3 \times (\text{n-3}) + (\text{n-3})/(\text{n-6}))]}$$

$$\text{HH} = \frac{[(\text{C18:1n-9} + \text{C18:2n-6} + \text{C20:4n-6} + \text{C18:3n-3} + \text{C20:5n-3} + \text{C22:6n-3})]}{(\text{C14:0} + \text{C16:0})}$$

Statistical analysis: The data expressed as mean values $\pm$ standard deviation. The oil extraction experiments were performed in triplicate (n = 3). For each triplicate, at least three measurements were performed. Fatty acid composition was performed in triplicate (n = 3).

RESULTS

Fatty acid profile: Fatty acid (FA) composition of zebra mussel oil (ZMO) is presented in Figure 1. Level of total lipid (TL) in ZMO was $0.9 \pm 0.04\%$ wet weight (w/w) and total of 19 fatty acids were identified in ZMO. The determined saturated fatty acids in zebra mussels are pentadecanoic acid (15:0), palmitic acid (16:0), margaric acid (17:0), stearic acid (18:0), arachidic acid (20:0), behenic acid (22:0), and lignoceric acid (24:0). The recognized cis-fatty acids are palmitoleic acid (16:1 n-7), oleic acid (18:1 n-9), gondoic acid (20:1 n-9), and linoleic acid (18:2 n-6). The three known omega-3 fatty acids are alfa-linolenic acid (18:3 n-3), eicosapentaenoic acid (20:5 n-3), and docosahexaenoic acid (22:6 n-3). The recognized omega-6 fatty acids are docosadienoic acid (22:2 n-6), eicosadienoic acid (20:2 n-6), and linoleic acid (18:2 n-6).

Nutritional quality indices: In accordance with WHO guidelines, fatty acid profile data were combined to determine the ratio of $\Sigma \text{PUFAs} / \Sigma \text{SFAs}$ and the ratio of ΣPUFAs (n-6/n-3) (Cavali et al., (2022). Ulbricht and Southgate (1991) also determined the atherogenic (AI) and thrombogenic (TI) indices, indicating that foods that are favorable for cardiovascular health had lower values. AI is a crucial determinant of the quality of the oils that can fend off cardiovascular diseases. The TI shows that blood clots have formed in the vessel. Prothrombogenic (saturated) fatty acids and anti-thrombogenic fatty acids (MUFA, omega-6 PUFA, and omega-3 PUFA) are defined by TI, and the ratio of omega-3 to omega-6 PUFA is regarded as a key indicator of oil quality (Roy et al., 2022). Both indices examine the relationship between unsaturated (UFA) and saturated (SFA) fatty acids. UFA are the opposite of SFA, which is typically pro-thrombogenic (a greater propensity to form clots in blood vessels) and pro-atherogenic (favors lipids' adhesion to cells) (Fonseca et al., 2022). The impact of meal fatty acid composition on cholesterol is evaluated using the hypocholesterolemic/hypercholesterolemic (H/H) index (Santo et al., 2002).

Nervonic acid (24:1 n-9) is the identified omega-9 fatty acid.

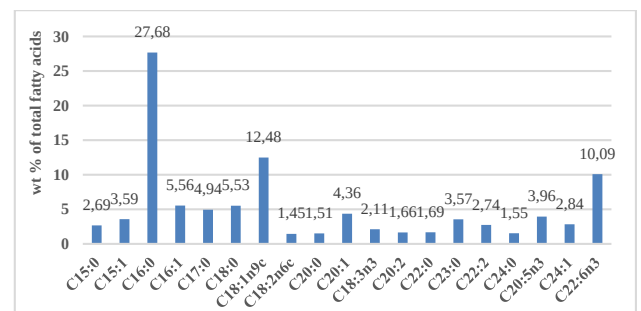


Figure 1. Most abundant fatty acids in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*)

The detected saturated fatty acids in zebra mussel are pentadecanoic acid (15:0), palmitic acid (16:0), margaric acid (17:0), stearic acid (18:0), arachidic acid (20:0), behenic acid (22:0), and lignoceric acid (24:0). The recognized cis-fatty acids are palmitoleic acid (16:1 n-7), oleic acid (18:1 n-9), gondoic acid (20:1 n-9), and linoleic acid (18:2 n-6). The three known omega-3 fatty acids are alfa-linolenic acid (18:3 n-3), eicosapentaenoic acid (20:5 n-3), and docosahexaenoic acid (22:6 n-3). The recognized omega-6 fatty acids are docosadienoic acid (22:2 n-6), eicosadienoic acid (20:2 n-6), and linoleic acid (18:2 n-6).

eicosadienoic acid (20:2 n-6), and linoleic acid (18:2 n-6). Nervonic acid (24:1 n-9) is the identified omega-9 fatty acid.

The major fatty acids in the SFA group were palmitic acid (C16:0), followed by heptadecanoic (C17:0) and stearic acid (C18:0). Palmitic acid constituted about approximately 27% of the total SFAs. Stearic acid was another frequently found fatty acid in mussels and together, they constitute 2/3 of the total SFAs. Zebra mussel included a higher proportion of SFA compared to MUFA. The major group in the MUFAs were oleic (C18:1n9c) and followed by palmitoleic acid (16:1 n-7) and gondoic acid (20: 1 n-9). Oleic acid (C18:1n9c) constituted approximately half of the total MUFAs and oleic (C18:1n9c) and palmitoleic acid (16:1 n-7) together, constituted more than half of the total MUFAs. The predominant fatty acids in the PUFA groups were docosahexaenoic acid (DHA) (C22:6n3), followed by eicosapentaenoic (EPA) (C20:5 n3). DHA constituted approximately 60 % of total PUFAs. The FA distribution of ZMO follows the order: Saturated fatty acids (SFAs) (49.16 % of total fatty acids) > Monounsaturated fatty acids (MUFAs) (28.83 %) > Polyunsaturated fatty acids (PUFAs) (17.61%).

Nutritional quality indices: Using nutritional indicators based on fatty acid composition, the nutritional lipid quality of ZMO was assessed. Nutritional quality profiles of ZMO were presented in Figure 2. The PUFA/SFA, n-6/n-3, EPA+DHA were assessed. PUFA/SFA ratio of ZMO was 0.36 which was slightly below the recommended limits. The quantities of n-3 PUFA were greater than those of n-6 PUFA. n6/n3 ratio of ZMO was 0.09 which was a good provider of DHA and EPA among the n3 series. Lower AI and TI were produced by the ZMO, which had a low n-6/n-3 ratio due to a higher n-3 content. Sum of EPA and DHA amounts were 14.05 ± 1.36 and extremely lower than the recommended limits. AI and TI of ZMO were found 0.6 and 0.45, respectively. AI and TI indices show that ZMO can contribute to human health. H/H index of zebra mussel was 1.09.

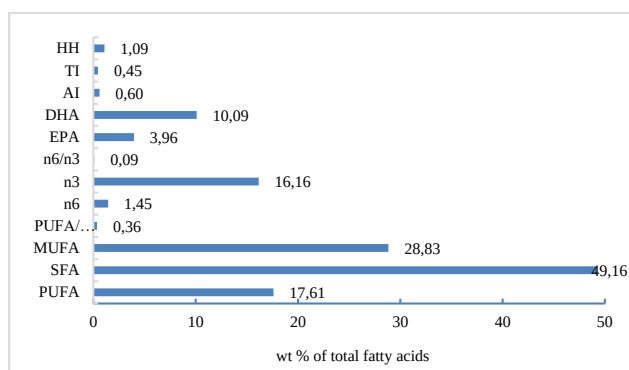


Figure 2. Nutrition quality indices of lipids in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*)

DISCUSSION

The abundance of advantageous macro and micronutrients that are vital for human health, especially the high concentration of good fatty acids, make seafood a highly valued food source (Fonseca et al., 2022). Numerous biotic and abiotic elements, including food availability, UV radiation, water temperature, salinity, UV radiation and an abundance of food, affect the lipid content of marine species (Cherifi et al., 2018; Panayotova et al., 2021; Peycheva et al., 2021). Therefore, the investigation of the fatty acid profile of aquatic animals is important for the evaluation of health benefits. Similar results to TL content of ZMO have found from different researchers (Biandolini et al., 2023; Cherifi et al., 2018; Haldar et al., 2014; Keskinbalta & Çelik, 2020). From a nutritional perspective, the ZMO can be classified as a lean species, with a lipid content of less than 2%, and a low-fat species, with a lipid level ranging from 2% to 4%. The low lipid content of ZMO, which is consistent with other studies of *Mytilus galloprovincialis* that have been published by the Panayotova et al., (2021). Peycheva et al., (2021) have reported that TL content of wild and farmed *Mytilus galloprovincialis* were respectively ranged between 2.27-2.35 and 1.37-1.31.

Although its low lipid content, ZMO displayed FA profiles that were beneficial to human health. Order of FA groups of ZMO was similar to the mussel species reported by Prato et al. (2020). Fatty acids belong to SFAs and MUFAs were similar reported by Şereflişan and Altun Ersoy (2018) which have also been reported that palmitic acid was the major FA and, it was followed by stearic acid in *Anodonta pseudodopsis* and *Unio tigridis*, however major MUFA was oleic acid in *A. pseudodopsis* whereas it was palmitoleic acid representing one third of MUFAs in *U. tigridis*. Similar to this study, Peycheva et al. (2021) reported that the major SFAs in *Mytilus galloprovincialis* were palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0), and SFAs were higher than MUFAs. EPA and DHA were the major PUFAs in this study. Accordingly, Cherifi et al. (2018) have been reported DHA and EPA were the most important PUFAs in their *Mytilus galloprovincialis* samples. Prato et al. (2020) have reported that DHA and EPA were the predominant unsaturated FAs in bivalves. Marine bivalves have a restricted capacity to produce PUFAs from scratch and instead rely on obtaining them from the available food sources in their environment. Due to the inability of mussels to produce LC-PUFAs, it is necessary to acquire DHA through dietary sources. The increased levels of DHA could be attributed to the abundance of zooplankton and dinoflagellates in the mussels' food sources (Peycheva et al., 2021).

Nutritional parameters were taken into consideration to determine the dietary quality of lipids and

the potential effects on human health. Functional foods that provide health benefits beyond nutrition and reduce the risk of chronic disease are increasingly regarded (Prato et al., 2020). The health advantages associated with consuming bivalves can be evaluated by analyzing nutritional quality indices, including the PUFA/SFA n-6/n-3, AI, TI, and HH indices and the levels of EPA + DHA (in mg/100 g of edible portion)

The PUFA/SFA ratio is a commonly employed measure for assessing the influence of food on cardiovascular health and oxidative stress (Biandolini et al. 2023). The optimum range for PUFA/SFA ratio of *Mytilus galloprovincialis* is 0.45-4.00 (Peycheva et al. 2021). Prato et al. (2020) reported that all species from the Ionian Sea showed the PUFA/SAFA ratio >0.45. Peycheva et al., (2021) found that PUFA/SFA were between 0.69-3.08 in *Mytilus galloprovincialis* and Panayotova et. al., (2021) reported that PUFA/SFA were between 0.65-3.07 in *Mytilus galloprovincialis*. Nevertheless, certain studies deem PUFA/SFA as feeble and insufficient when it comes to serving as a reliable measure of the nutritional worth of fats, citing various reasons. The total amount of polyunsaturated fatty acids (PUFA) does not differentiate between the types n-3 and n-6. Consequently, having a high proportion of PUFA is not automatically beneficial if it is not properly balanced in terms of the ratio between n-6 and n-3 PUFA (Biandolini et al. 2023).

The n-6/n-3 ratio is a dependable indication for evaluating the relative nutritional value of oil obtained from aquatic organisms. Both n-3 and n-6-series PUFAs serve as precursors to eicosanoids, which play a role in regulating inflammation through contrasting mechanisms. n-6 derivatives stimulate inflammation, platelet aggregation, and vasoconstriction, leading to a pro-inflammatory response. On the other hand, n-3 derivatives suppress inflammation and platelet aggregation, and promote vasodilation, resulting in an anti-inflammatory and resolving response. For optimal health, the UK Department of Health recommends maintaining a maximum n-6/n-3 ratio of 4.0. Enhancing the ratio is vital for diminishing the occurrence of coronary heart illnesses, plasma cholesterol levels, and cancer risks. Hence, it is imperative to uphold an equitable proportion of these two PUFA categories in our dietary intake to ensure optimal human development, overall health, and the prevention of contemporary chronic ailments (Biandolini et al., 2023). In the present study, n-6/n-3 was consistent with the previous studies. Şereflişan and Ersoy Altun (2018) have reported that the n6/n3 ratio of *A. pseudodopsis* and *U. tigridis* was 0.90 and 0.99, respectively. Prato et al., (2020) reported that very favourable ratios n-6/n-3 well below the recommended values were observed, with values within the range of 0.1-1.0. Moniruzzaman et al., (2021) found n-

6/n-3 was ranged from 0.2 (*C. virginica*) to 3.69 (*P. globosa*). Marine bivalves typically contain a significant amount of n-3 PUFAs and have a low n-6/n-3 ratio. As a result, they are regarded as a reliable and environmentally friendly source of n-3 PUFAs for human diet.

The total amount of EPA and DHA (mg 100 g⁻¹; w w⁻¹) is a crucial indicator of the nutritional value of lipids, offering significant insights on the quantity and quality of marine animal products (Biandolini et al., 2023). The species can be categorized as a "good source" of fatty acids (FAs) based on its DHA and EPA concentration (Panayotova et al., 2021). The content of eicosapentaenoic acid plus docosahexaenoic acid (EPA+DHA) was ascertained in accordance with the guidelines provided by the European Food Safety Authority about the dietary reference values for lipid (EFSA, 2010). WHO (2010) recommends a minimum consumption of 200-500 mg of EPA+DHA for primary prevention of coronary illnesses, with greater dosages advised for individuals diagnosed with coronary heart disease. Nevertheless, the presence of zebra mussel as a raw material still contains beneficial health-promoting compounds. Besides, mussels have been recommended as a great nutritional supply of EPA and DHA for human consumers because of their vital role (Cherifi et al., 2018). Peycheva et al., (2021) reported 309.4 and 428.8 mg 100 g⁻¹ EPA+DHA in *Mytilus galloprovincialis*. Panayotova et al. (2021) found the sum of DHA and EPA of *Mytilus galloprovincialis* varies between 250 and 650 mg 100 g⁻¹.

The Atherogenicity indice (AI) and thrombogenicity indice (TI) indices can be used as an alternate approach to evaluate the nutritional value of the lipid component in relation to human health. These indices are regarded as reliable indicators of the lipid quality in food, providing more accurate data in comparison to the PUFA/SFA ratio. Trombogenic and anti-trombogenic fatty acids interact, leading to the development of blood clots in the arteries in individuals with TI. Lower values of these indices indicate the presence of FAs that possess advantageous characteristics for preventing coronary heart disease, such as being anti-atherogenic and anti-thrombogenic. Therefore, fatty acids with lower values possess a higher capacity to inhibit the occurrence of coronary heart disease (Biandolini et al., 2023). Elevated levels of AI and TI have the potential to boost platelet aggregation and facilitate the development of blood clots (Peycheva et al., 2021). AI and TI values over 1.0 are deemed detrimental to human health and are strongly linked to the development of coronary heart disorders, mostly caused by the blockage of coronary channels due to atherosclerosis or thrombosis, either individually or in combination. Hence, lower numbers correspond to a higher level of protection against cardiovascular illnesses (Cherifi

et al. (2018); Panayotova et al., 2021). In our investigation, we found that zebra mussel had AI and TI values below 1, which aligns with the findings of previous studies conducted with different mussel species by Panayotova et al. (2021); Prato et al. (2020); Moniruzzaman et al., (2021). The study found that the AI and TI values for animal meat were within the range of 0.5-1.0, which is notably lower than the values seen for lamb meat (1.87). The H/H index represents the ratio of hypercholesterolemic fatty acids to the total sum of fatty acids (Peycheva et al., 2021). The H/H fatty acid index is a valuable supplementary measure used to assess the impact of specific fatty acids on cholesterol metabolism (Prato et al., 2020). A higher H/H ratio corresponds directly to a higher amount of polyunsaturated fatty acids (PUFAs), which is regarded as more advantageous for human health in terms of nutritional value. Thus, higher H/H values in relation to nutrition are considered more beneficial for human health. (Prato et al., 2020; Zula and Desta, 2021). In the present study, H/H index was high. Prato et al., (2020) have found in their study that all species had values almost high within the range reported in the literature (0.25-3.23). In the present study, AI, TI and HH index of ZMO provides values that have positive effects on human health.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

It is crucial to have affordable food with a high lipid profile, not only for human consumption but also for the nutrition of farmed animals and pets. In modern times, there is a significant emphasis on functional diets, which not only supply essential nourishment but also offer health advantages and lower the likelihood of chronic illness. The findings of our current investigation demonstrate that the zebra mussel possess a high concentration of essential fatty acids that are necessary for maintaining human well-being.

Lipid extracted from zebra mussel exhibited fatty acid profile that were beneficial for human health. Results of the present study revealed the nutritional quality indices and beneficial fatty acids of zebra mussels for evaluation as nutraceutical and pharmaceutical food components. Accordingly, zebra mussel fatty acids provide health-promoting bioactive components that can be used in protecting human health and animal welfare and nutrition. However, further research is warranted to elucidate seasonal variations and other environmental condition in fatty acids and other nutritional components in zebra mussels.

Briefly, zebra mussel, which contains nutritionally beneficial fatty acids, is a species that is also highly resistant to environmental conditions, can multiply rapidly in fresh waters, and poses a risk for water flow by blocking channels, especially in dam lakes. Therefore, by processing zebra mussels, it can be an alternative oil source

that can be used as nutraceutical and pharmaceutical, according to the beneficial fatty acids and good nutritional quality indexes revealed and management of dam lakes can be achieved by utilizing the zebra mussel, an invasive species, as an alternative oil source.

Funding: “This research received no external funding”.

Conflicts of Interest: “The author declare no conflicts of interest.”

REFERENCES

- Biandolino, F., Prato, E., Grattagliano, A. & Parlapiano, I. (2023). Can Glyphosate and Temperature Affect the Nutritional Lipid Quality in the Mussel *Mytilus galloprovincialis*? *Foods*, **12**, 1595. DOI: [10.3390/foods12081595](https://doi.org/10.3390/foods12081595)
- Bligh, G.E. & Dyer, J.W. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37**(8), 911-7. DOI: [10.1139/o59-099](https://doi.org/10.1139/o59-099)
- Cavali, J., Marmentini, P.R., Filho, D.V.J., Pontuschka, B.R. & Schons, S.V. (2022). Fatty acid profile, omegas, and lipid quality in commercial cuts of tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) cultivated in ponds. *Bol. Inst. Pesca*, **48**, e700. DOI: [10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e700](https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e700)
- Chen, J. & Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *Int. J. Mol. Sci.*, **21**, 5695. DOI: [10.3390/ijms21165695](https://doi.org/10.3390/ijms21165695)
- Cherifi, H., Ajjabi, C.L. & Sadok, S. (2018). Nutritional value of the Tunisian mussel *Mytilus galloprovincialis* with a special emphasis on lipid quality. *Food Chemistry*, **268**, 307-314. DOI: [10.1016/j.foodchem.2018.06.075](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.075)
- EFSA. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, *trans* fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, **8**(3), 1461.
- Fonseca, F.V., Duarte, A.I., Matos, R.A., Reis Santos, P. & Duarte, B. (2022). Fatty acid profiles as natural tracers of provenance and lipid quality indicators in illegally sourced fish and bivalves. *Food Control*, **134**, 108735. DOI: [10.1016/j.foodcont.2021.108735](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108735)
- Haldar, A., Dey, K.T., Dhar, P. & Chakrabarti, J. (2014). Exploring the Nutritive Values of the Fresh Water Mussel *Lamellidens marginalis* as Potential Functional Food. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, **8**(8), 01-07.
- Keskinbalta, A.M. & Çelik, Y.M. (2020). Proximate Composition of Freshwater Mussels (*Unio pictorum*, Linnaeus 1758) in Karasustream, Sinop. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, **8**(9), 1948-1951. DOI: [10.24925/turjaf.v8i9.1948-1951.3584](https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i9.1948-1951.3584)
- OIC. (2017). COI/T.20/Doc. No 33. Determination Of Fatty Acid Methyl Esters By Gas Chromatography, <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T.20-Doc.-No-33-Rev.-1-2017.pdf>
- Ozogul, F., Cagalj, M., Simat, V., Ozogul, Y., Tkaczewska, J., Hassoun, A., Kaddour, A.A., Kuley, E., Rathod, B.N. & Phadke, G.G. (2021). Recent developments in valorisation of bioactive ingredients in discard/seafood processing by-products. *Trends in Food Science and*

- Technology, **116**, 559-582. DOI: [10.1016/j.tifs.2021.08.007](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.007)
- Moniruzzaman, M., Sku, S., Chowdhury, P., Tanu, B.M., Yeasmine, S., Hossen, N.M., Min, T., Bai, C.S. & Mahmud, Y. (2021).** Nutritional evaluation of some economically important marine and freshwater mollusc species of Bangladesh. *Heliyon*, **7**, e07088. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e07088](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07088)
- Nalepa, F.T., Cavaletto, F.J., Ford, M., Gordon, M.V. & Wimmer, M. (1993).** Seasonal and Annual Variation in Weight and Biochemical Content of the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, in Lake St. Clair. *Journal of Great Lakes Research*, **19**(3), 541-552. DOI: [10.1016/S0380-1330\(93\)71240-X](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(93)71240-X)
- Panayotova, V., Merdzhanova, A., Stancheva, R., Dobрева, A.D., Peycheva, K. & Makedonski, L. (2021).** Farmed mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Black Sea reveal seasonal differences in their neutral and polar lipid fatty acids profile. *Regional Studies in Marine Science*, **44**, 101782. DOI: [10.1016/j.rsma.2021.101782](https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101782)
- Peycheva, K., Panayotova, V., Stancheva, R., Makedonski, L., Merdzhanova, A., Cicero, N., Parrino, V. & Fazio, F. (2021).** Trace Elements and Omega-3 Fatty Acids of Wild and Farmed Mussels (*Mytilus galloprovincialis*) Consumed in Bulgaria: Human Health Risks. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **18**, 10023. DOI: [10.3390/ijerph181910023](https://doi.org/10.3390/ijerph181910023)
- Prato, E., Fanelli, G., Parlapiano, I. & Biandolino, F. (2020).** Bioactive fatty acids in seafood from Ionian Sea and relation to dietary recommendations. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **71**(6), 693-705. DOI: [10.1080/09637486.2020.1719388](https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1719388)
- Roy, V.C., Park, J. Ho, C.T. & Chun, B. (2022).** Lipid Indexes and Quality Evaluation of Omega-3 Rich Oil from the Waste of Japanese Spanish Mackerel Extracted by Supercritical CO₂. *Marine Drugs*, **20**, 70. DOI: [10.3390/md20010070](https://doi.org/10.3390/md20010070)
- Santos-Silva, J., Bessa, R.J.B. & Santos-Silva, F. (2002).** Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Livest. Prod. Sci.*, **77**, 187. DOI: [10.1016/S0301-6226\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
- Simat, V., Bogdanovic, T., Poljak, V. & Petricevic, S. (2015).** Changes in fatty acid composition, atherogenic and thrombogenic health lipid indices and lipid stability of bogue (*Boops boops* Linnaeus, 1758) during storage on ice: Effect of fish farming activities. *Journal of Food Composition and Analysis*, **40**, 120-125. DOI: [10.1016/j.jfca.2014.12.026](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.026)
- Şereflişan, H. & Ersoy Altun, B. (2018).** Amino Acid and Fatty Acid Composition of Freshwater Mussels, *Anodonta pseudodopsis* and *Unio tigridis*. *Pakistan J. Zool.*, **50**(6), 2153-2158. DOI: [10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2153.21](https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2153.21)
- Ulbricht, T.L. & Southgate, D.A. (1991).** Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, **338**(8773), 985-92. PMID: 1681350. DOI: [10.1016/0140-6736\(91\)91846-m](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-m)
- Ullah, H., Gul, B., Khan, H. & Zeb, U. (2021).** Effect of salt stress on proximate composition of duckweed (*Lemna minor* L.). *Heliyon*, **7**, e07399. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e07399](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07399)
- Zhukova, V.N. (2014).** Lipids and Fatty Acids of Nudibranch Mollusks: Potential Sources of Bioactive Compounds. *Mar. Drugs*, **12**, 4578-4592; DOI: [10.3390/md12084578](https://doi.org/10.3390/md12084578)
- Zula, T.A. & Desta, T.D., (2021).** Fatty Acid-Related Health Lipid Index of Raw and Fried Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fish Muscle. *Journal of Food Quality*, **9**. Article ID 6676528, DOI: [10.1155/2021/6676528](https://doi.org/10.1155/2021/6676528)
- WHO. (2010).** Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. Geneva: WHO/FAO.



Su Ürünleri Üretimine Yönelik Sanal Gerçeklik Ortamının Etkileşimli Öğretim Materyali Olarak Geliştirilmesi

Erdoğan VESKE^{1*}

Hijran YAVUZCAN YILDIZ²

¹General Directorate of Agricultural Research And Policies, Ankara, Türkiye

²Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Fisheries and Aquaculture, Ankara, Türkiye

Received: 27.07.2024

Accepted: 24.01.2025

Published: 31.01.2025

Atf yapmak için: Veske, E. & Yavuzcan Yıldız, H. (2025). Su ürünleri üretimine yönelik sanal gerçeklik ortamının etkileşimli öğretim materyali olarak geliştirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 63-68. <https://doi.org/10.35229/jaes.1521033>

How to cite: Veske, E. & Yavuzcan Yıldız, H. (2025). Development of virtual reality environment for aquaculture as interactive teaching material. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 63-68. <https://doi.org/10.35229/jaes.1521033>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-4194-2120>
ID: <https://orcid.org/0000-0001-6567-7467>

***Corresponding author's:**

Erdoğan VESKE
Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel
Müdürlüğü Ankara, Türkiye.
✉: erdinc.veske@tarimorman.gov.tr

Öz: Bu çalışma, su ürünleri mühendisliği alanında eğitim gören öğrencilerin öğrenme süreçlerini iyileştirmek amacıyla sanal gerçeklik teknolojisinin kullanımını araştırmaktadır. Bu bağlamda, su ürünleri yetiştiriciliğine yönelik bir sanal gerçeklik ortamı tasarlanmış, geliştirilmiş ve etkililiği değerlendirilmiştir. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği bölümünde yürütülen bu çalışma kapsamında, sanal gerçeklik uygulaması alabalık üretimi dersine uygun olarak kuluçkahane, büyüme havuzları ve deniz kafeslerini içerecek şekilde tasarlanmıştır. Bu uygulama, 3. ve 4. sınıf öğrencilerinden oluşan iki farklı grup tarafından Aralık 2022 ve Ocak 2023 tarihleri arasında deneyimlenmiştir. Öğrenciler, hem sanal gerçeklik ortamında hem de geleneksel yüz yüze eğitim yöntemleriyle öğrenim görmüş ve öğrenme performansları karşılaştırılmıştır. Sanal gerçeklik tabanlı öğrenme performansı gruplar arasında %83,4-85,6 başarı oranları ile, %76,9-78,3 puana sahip yüz yüze eğitimden daha başarılı bulunmuştur ($p < 0,05$). Cinsiyet ve görme problemlerinin ise performansı etkilemediği belirlenmiştir ($p > 0,05$). Likert ölçeği analizine göre, geleneksel eğitimin etkililiği 3,51, sanal gerçeklik eğitiminin etkililiği ise 3,94 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, sanal gerçeklik teknolojisinin su ürünleri mühendisliği eğitiminde öğrencilerin öğrenme süreçlerini daha etkili hale getirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, sanal gerçeklik uygulamalarının sınıf ortamında etkili bir öğretim materyali olarak kullanılabileceği ve bu teknolojinin su ürünleri mühendisliği eğitiminde yaygınlaştırılması gerektiği önerilmektedir.

Keywords: Öğrenme teknikleri, sanal gerçeklik, su ürünleri, teknoloji.

Development of Virtual Reality Environment for Aquaculture as Interactive Teaching Material

Abstract: This study explores the potential of virtual reality technology to enhance the learning experiences of students in the field of aquaculture engineering. In this context, a virtual reality environment specifically designed for aquaculture education was developed and its effectiveness was assessed. The study was conducted within the Department of Fisheries and Aquaculture Engineering at Ankara University, where the VR application was designed to simulate hatcheries, nursery ponds, and sea cages in alignment with the trout production curriculum. This VR environment was experienced by two different student groups—third-year and fourth-year students—between December 2022 and January 2023. The students participated in both the VR-based learning and traditional face-to-face instruction, and their learning outcomes were compared. Virtual reality-based learning performance was found to be more successful than face-to-face education, which had a score range of 76.9-78.3%, with success rates of 83.4-85.6% among groups. Gender and vision problems were found not to statistically affect performance ($p > 0.05$). According to the Likert scale analysis, the effectiveness of traditional education was rated at 3.51, while the effectiveness of VR education was rated higher at 3.94. The findings indicate that the use of VR technology in aquaculture engineering education enhances the learning process, providing a more engaging and effective educational experience. Consequently, the study suggests that virtual reality applications should be integrated more widely into aquaculture engineering curricula as an effective teaching tool.

Anahtar kelimeler: Aquaculture, learning techniques, technology, virtual reality

***Sorumlu yazar:**

Erdoğan VESKE
General Directorate of Agricultural Research
and Policies Ankara, Türkiye.
✉: erdinc.veske@tarimorman.gov.tr

GİRİŞ

Su ürünleri sektörü, insan sağlığı için kritik öneme sahip besinlerin temininde kilit bir rol oynarken, aynı zamanda gıda güvenliği, istihdam ve ekonomik büyümeye de önemli katkılar sağlamaktadır (Şen vd., 2017). Bu sektör, teknoloji alanındaki yeniliklerle daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmaktadır. Ülkemizde, diğer birçok bölgede olduğu gibi, su ürünleri üretimi başlangıçta avcılığa dayanmaktaydı. Ancak, nüfus artışı, doğal kaynakların giderek azalması ve geniş ölçekli üretim olanaklarının artmasıyla birlikte, su ürünleri üretiminin payı son yıllarda belirgin bir şekilde artmıştır. Sağlıklı beslenme bilincinin yükselmesi ve yaşam standartlarının iyileşmesi, su ürünlerine olan talebi ve su ürünlerinin dünya genelindeki ticaretini her yıl artırmaktadır (Atar & Ataman, 2016; Khalid, 2022; Düren, 2024).

Su ürünleri sektörü, çevre dostu yetiştirme yöntemlerinin uygulanması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımını hedefleyen çeşitli önlemlerle desteklenmektedir (Bahadır Koca vd., 2011; Diken, 2020). Su ürünleri üretimi, gıda güvenliğinin sağlanmasında, istihdam olanaklarının yaratılmasında ve ülke ekonomisine katkı sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Filipski & Belton, 2018; Bjørndal vd., 2024). Bununla birlikte, küresel iklim değişikliği nedeniyle gelecekte ortaya çıkabilecek olumsuz etkilerden korunmak amacıyla hazırlık yapılması gerekmektedir (Bahadır Koca vd., 2011; Diken, 2020; Kara & Yereli, 2022). Bu doğrultuda, Su Ürünleri Kanunu, doğal kaynakların korunması ile bu kaynakların sürdürülebilir bir şekilde kullanımı arasında bir denge sağlanarak üretim yapılmasını hedeflemektedir.

Kısıtlı doğal ve ekonomik kaynaklarla başa çıkma sürecinde sürdürülebilirlik temel bir ilke olarak öne çıkmaktadır (Erdoğan vd., 2020). Sürdürülebilir üretim ve gelişmenin sağlanabilmesi için mevcut kaynakların izlenmesi, sorunların tespit edilmesi, çözüm yollarının geliştirilmesi ve geleceğin planlanması adına güncel verilerin kullanılması gerektiği ortaya konulmuştur (Holden vd., 2014; Wichaisri & Sopadang, 2017; Erdoğan vd., 2020). Artan nüfusun gıda talebini karşılayabilmek için, dünyanın 2050 yılına kadar gıda üretimini %70 oranında artırması gerekecektir (Alexandratos & Bruinsma 2012). Bu nedenle, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrisinin hem Türkiye’de hem de dünya genelinde gelecekte önemli ölçüde büyümesi beklenmektedir. Bugün Türkiye, dünyanın önde gelen su ürünleri üreticileri arasında yer almaktadır (FAO, 2021). Su ürünleri yetiştiriciliği, genellikle alternatif bir protein kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, sektörün genel halk arasındaki bilinirliği oldukça sınırlıdır.

Dünya genelinde milyonlarca insan, su ürünleri avcılığı ve yetiştiriciliği sektöründe geçimini

sağlamaktadır. 2020 yılında su ürünleri üretiminde tam zamanlı veya yarı zamanlı olarak faaliyet gösteren kişi sayısı 585 milyon olarak kaydedilmiştir. Bu kişilerin %35’i su ürünleri yetiştiriciliğinde çalışmıştır. Su ürünleri üretiminde önde gelen ülkeler arasında Çin, Endonezya, Hindistan, Vietnam ve Norveç gibi ülkeler bulunmaktadır (FAO 2020). Sektörün bu denli geniş bir insan kitlesini etkilediği göz önüne alındığında, sektörde çalışan bireylerin eğitimi ve yetkinliklerinin artırılması, su ürünleri yetiştiriciliği ve avcılığının daha verimli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, yeni ve yenilikçi eğitim yöntemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması kritik bir gerekliliktir.

Öğrenme süreci, bireylerin kendilerini keşfederek bilgiye ulaştıkları ve ömür boyu süren sosyal bir süreçtir (Clements & Battista, 1990). Bu süreçte, pasif öğrenme yöntemlerinden yapılandırmacı öğrenme yöntemlerine doğru bir dönüşüm gözlemlenmiştir. Özellikle 20. yüzyıldan sonra, öğrenenlerin bilgiyi kendi zihinsel süreçlerinde yeniden oluşturmasını hedefleyen bu yöntemler önem kazanmıştır (Bruner, 1979). Sokrates’in de ifade ettiği gibi, bilgi kişinin içinde bulunan ve hatırlanmayı bekleyen bir yapıya sahiptir (Karatani, 2005). Bu bağlamda, öğrencilerin bilgiyi yalnızca eğitmeninden alması yerine, deneyimleyerek ve kendi üretme süreçlerini yaşayarak öğrenmeleri daha etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Hung, vd., 2008). Kolb tarafından geliştirilen "Kolb's Learning Style Inventory (K-LSI)" modeli de deneyimsel öğrenmeyi sistematik bir şekilde ele almış ve bu alanla ilgili birçok araştırmaya ışık tutmuştur (Veznedaroğlu & Özgür, 2005; Kolb, vd., 2015).

Sanal gerçeklik, eğitimde bireylerin bilgiyi yaparak ve deneyimleyerek öğrenmelerine olanak tanıyan yenilikçi bir araç olarak kullanılmaktadır. Dünya çapında yaygın olarak kullanılan VR terimi ise sanal gerçeklik anlamına gelen virtual reality teriminin kısaltmasıdır (Abbas vd., 2023). Schön (1985), öğrenme süreçlerinde odak noktasının deneyim ve uygulama olduğuna dikkat çekerken, Prensky (2001) ise Z kuşağının dijital doğanlar olarak nitelendirilmesinin, onların öğrenme eğilimlerini etkilediğini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, sanal gerçeklik teknolojisinin su ürünleri yetiştiriciliği bağlamında henüz yaygın bir uygulama alanı bulmadığı belirtilmiştir. Literatürde yalnızca "Aquafarm" (Ernst, vd., 2000) ve "Aquamodel" (<http://www.aquamodel.net/>) gibi 2D veya 3D platformlar bulunmaktadır. Ancak, sanal gerçeklik gibi gelişmiş teknolojilerin su ürünleri mühendisliği eğitimine entegrasyonu, öğrencilerin sektörel deneyimlerini artırarak sürdürülebilir yetiştiricilik yöntemlerini anlamalarına büyük katkı sağlayabilir.

Su ürünleri mühendisliği eğitiminde yenilikçi yöntemlerin sınırlılığı, sektörel deneyim kazandırma ve

uygulamalı öğrenme süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışma, su ürünleri mühendisliği eğitiminde sanal gerçeklik teknolojisinin etkisini araştırmayı ve sektöre katkı sağlayacak yenilikçi eğitim yöntemleri geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmanın temel hipotezi, sanal gerçeklik destekli eğitim uygulamalarının geleneksel yöntemlere kıyasla öğrencilerin öğrenme performansını artıracak ve sektörel yetkinliklerini geliştireceğidir. Bunun yanı sıra, sanal gerçekliğin etkilerinin cinsiyet ve bireysel farklılıklar (örneğin görme problemi) gibi faktörlere göre fark yaratıp yaratmadığı da araştırılmıştır. Öğrencilerin geleneksel yöntemlere ek olarak sanal gerçeklik ortamında eğitim alarak, öğrenme süreçlerini nasıl deneyimledikleri incelenmiş ve bu yeni teknolojinin eğitimdeki etkinliği değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Kullanılan Donanımlar ve Yazılımlar: Bu çalışmada kullanılan donanımlar ve yazılımlar, sanal gerçeklik ortamının etkili bir şekilde oluşturulması ve kullanılması için özenle seçilmiştir. Çalışmada kullanılan sanal gerçeklik gözlüğü, HTC Vive Pro modeli olup, 2880x1600 çözünürlük, 90 Hz yenileme hızı ve 110 derece görüş açısına sahiptir. Gözlük, DisplayPort ve USB 3.0 bağlantıları ile bilgisayara bağlanmakta ve inside-out tracking teknolojisi ile izleme yapmaktadır. Hareket algılayıcılar, 6 x 6 metre izleme alanında lazer tarama teknolojisi ile milimetre düzeyinde hassasiyetle çalışmaktadır. Bilgisayar sistemi, Intel Core i7-9700K işlemci, 16 GB DDR4 RAM, NVIDIA GeForce RTX 2080 ekran kartı ve yüksek hızlı depolama birimi ile donatılmıştır.

Yazılımlar arasında, 3D modelleme ve sanal gerçeklik ortamlarının oluşturulması için Unreal Engine oyun motoru, sanal gerçeklik ortamındaki nesnelerin ve sahnelerin tasarımı için 3DsMax programı ve istatistiksel analizlerin yapılmasında kullanılan SPSS yer almaktadır (DeFreitas & Neumann, 2009; Kolb, 2015).

Sınıf Düzeni, Çalışmanın Evreni ve Örneklemi:

Çalışmada, sanal gerçeklik uygulamalarının gerçekleştirildiği sınıfların düzeni özenle planlanmıştır. Sınıflar, öğrencilerin sanal gerçeklik gözlüklerini ve hareket algılayıcıları rahatça kullanabilecekleri şekilde düzenlenmiştir. Her öğrenciye yeterli alan sağlanmış ve gerekli güvenlik önlemleri alınmıştır. Sınıf düzeni, öğrencilerin sanal ortama tamamen dalmalarını ve öğrenme deneyimlerini en üst düzeye çıkarmalarını sağlar. Çalışma, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü'nde eğitim gören 3. ve 4. sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Çalışmaya katılan öğrenciler, sanal gerçeklik uygulamaları ve yüz yüze

eğitim uygulamaları ile eğitim almışlardır. Yüz yüze eğitim uygulamasında hali hazırda Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü müfredatınca uygulanan rutin eğitim baz alınmıştır. Gruplar oluşturulurken katılımcıların başarı farklılığı olmamasına dikkat edilmiştir. Yüz yüze eğitimde çalışmanın örneklemini, toplamda 60 öğrenciden oluşmaktadır. Grup I, 3. sınıf öğrencilerinden; Grup II ise, 4. sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Çalışmada, VR uygulamalarının su ürünleri mühendisliği öğrencilerinin öğrenme süreçleri üzerindeki etkisi cinsiyet bağlamında da incelenmiştir. Kadın ve erkek oranı yaklaşık %42 kadın ve %58 erkektir. Sanal gerçeklik sistemi kurulumu tamamlandıktan sonra, öğrencilere sistemin kullanımı hakkında detaylı bir tanıtım yapılmıştır. Öğrenciler, sanal gerçeklik cihazının kullanımı, sanal gerçeklik uygulamalarının nasıl çalıştığı ve sistemdeki diğer özellikler hakkında bilgilendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan sanal gerçeklik cihazı, HTC Vive Pro 2 yüksek çözünürlüklü görüntü kalitesi, hızlı tepki süresi ve diğer özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, uyumlu bir bilgisayar temin edilmiş ve öğrencilerin herhangi bir yaralanmaya sebebiyet vermemeleri için, cihazın kullanımı için güvenli bir alan tanımlanmıştır. Çalışmaya katılan öğrencilere uygulama koşulları anlatıldıktan sonra her birinden bireysel olarak izin alınmıştır. Sınıf düzenine ait örnek fotoğraf Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Sanal gerçeklik çalışması evreni ve sınıf düzeni.

Figure 1. Virtual reality study universe and classroom organization.

Çalışmanın Yöntemi: Öğrenciler, VR ve yüz yüze eğitim uygulamalarına tabi tutulmuş ve öğrenme performansları sınav puanları, anketler ve görüşmeler aracılığıyla değerlendirilmiştir. VR performansı değerlendirmesinde gruplar arası sınav puan farklarının belirlenebilmesi için, normal dağılım ve homojenite gösteren değerlerde tek yönlü varyans analizi (Anova) gerçekleştirilmiştir. Normalite için Anderson-Darling testi, Homojenite için ise Levene testi kullanılmıştır.

Kadın-Erkek gibi iki kategorili grupların sınav notu-vr notu gibi sayısal bir veriyle ilişkisini bulmak amacıyla bağımsız örneklem T-Testi (Independent-Samples T Test) yapılmıştır. Görme problemi ile ilgili verilerin hesaplanmasında ise; gözlük veya lens kullananlar, görme problemi olup gözlüksüz kullananlar, kalıcı göz problemi olanlar ve görme problemi olmayanlar olmak üzere 4 grup altında incelenmiştir. Öğrencilerin VR uygulamalarına yönelik görüşleri ve değerlendirmeleri Likert ölçeği kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırmada sanal gerçeklik ortamının etkileşimli öğretim materyali olarak kullanımının etkisini ölçmek amaçlı 3 etkinlik alanında toplam 19 soruda 5'li Likert ölçeği kullanılmıştır. Anket uygulanmasında, dersi anlama kolaylığı, dersi takip etme motivasyonu, ders materyallerinin kalitesi, dersin ilgi çekiciliği ve genel eğitim etkililiği parametreleri katılımcılara sorularak; 1=Kesinlikle Katılmıyorum, 2=Katılmıyorum, 3=Kararsızım, 4=Katılıyorum ve 5=Kesinlikle Katılıyorum cevaplarından birini seçmeleri istenerek elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Anlamlılık derecesi (p değeri) 0,05 olarak kabul edilmiştir. Analizlerde SPSS 25 paket programı kullanılmıştır.

BULGULAR

Bu bölümde çalışmanın önemli bulguları detaylı olarak sunulmuştur. Araştırma bulguları, VR teknolojisinin su ürünleri mühendisliği eğitiminde kullanımının öğrencilerin öğrenme süreçlerini nasıl etkilediğini göstermektedir.

VR ve Yüz Yüze Eğitim Performans

Karşılaştırması: VR ve yüz yüze eğitim uygulamaları karşılaştırıldığında, VR teknolojisinin öğrencilerin öğrenme performansını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Grup I'in VR performansı, yüz yüze eğitim performansından anlamlı derecede yüksek bulunmuştur ($p<0.05$). Grup II'de de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrenci eğitim değerlendirmesi.

Table 1. Student education assessment.

Gruplar	VR Performansı Ortalama Puanı	Yüz Yüze Eğitim Performansı Ortalama Puanı
Grup I	85,6±0,59 ^a	78,3±0,62 ^b
Grup II	83,4±1,19 ^a	76,9±0,93 ^b

Aynı satırdaki farklı üst karakterler istatistiksel farklılıkları belirtmektedir ($p<0.05$).

Cinsiyetin ve görme problemlerinin VR performansına etkisi incelendiğinde, bu faktörlerin VR performansına anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$) (Tablo 2). Bu çalışmada, cinsiyet ve görme problemlerinin VR performansına anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu bulgu, VR teknolojisinin geniş bir öğrenci kitlesi tarafından eşit derecede etkili bir şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir. Literatürde, geleneksel eğitim yöntemlerinde bireysel farklılıkların öğrenme performansına etkisi olduğuna dair bulgular bulunmasına

rağmen, bu çalışmanın sonuçları VR teknolojisinin bireysel farklılıkların etkisini minimize ettiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Cinsiyet ve görme problemlerinin VR performansına etkisi.

Table 2. The effect of gender and vision problems on VR performance.

Faktörler	VR Performansı Ortalama Puanı
Erkek Öğrenciler	84,7±1,21 ^a
Kadın Öğrenciler	84,3±0,98 ^a
Görme Problemi Olanlar	84,1±0,42 ^a
Görme Problemi Olmayanlar	84,6±0,30 ^a

Aynı sütundaki farklı üst karakterler istatistiksel farklılıkları belirtmektedir ($p<0.05$).

Likert analiz sonuçlarına göre, öğrencilerin VR ve yüz yüze eğitim uygulamalarına yönelik değerlendirmeleri incelenmiştir. Yüz yüze eğitim etkililiği 3,51, VR etkililiği ise 3,94 olarak bulunmuştur ($p<0,05$). Bu sonuçlar, VR teknolojisinin eğitimde daha etkili olduğunu göstermektedir. Öğrencilerin sanal gerçeklik uygulamalarına yönelik değerlendirmeleri, VR teknolojisinin eğitimde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Öğrenciler, VR uygulamalarının derslere olan ilgilerini artırdığını ve öğrenme süreçlerini daha keyifli hale getirdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, VR teknolojisinin görsel ve interaktif yapısı sayesinde bilgilerin daha kolay anlaşıldığı ve akılda kaldığı ifade edilmiştir. Öğrenciler, VR ortamında yapılan simülasyonların gerçek hayatta karşılaşılabilecekleri durumları daha iyi anlamalarına yardımcı olduğunu vurgulamışlardır (Tablo 3).

Tablo 3. Likert analiz sonuçları.

Table 3. Results of likert analysis.

Öğrencilerin Eğitim Değerlendirmeleri (1-5 Likert Ölçeği)	Yüz yüze Eğitim	VR Eğitim
Dersi Anlama Kolaylığı	3,2	4,1
Dersi Takip Etme Motivasyonu	3,4	4,0
Ders Materyallerinin Kalitesi	3,5	4,2
Dersin İlgi Çekiciliği	3,3	4,3
Genel Eğitim Etkililiği	3,51	3,94

TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmanın sonuçlarına göre, sanal gerçeklik uygulamalarının su ürünleri mühendisliği eğitiminde kullanılmasının öğrencilerin öğrenme süreçlerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Öğrenciler, sanal gerçeklik uygulamalarını genel olarak olumlu değerlendirmiş ve eğitimlerine olan katkısını vurgulamışlardır. Bu bulgular, VR teknolojisinin eğitimde etkin bir şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir.

Öğrencilerin sanal gerçeklik uygulamalarına yönelik olumlu görüşleri, bu teknolojinin eğitimde yaygınlaştırılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. VR uygulamalarının sınıf ortamında etkili bir ders materyali olarak kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Öğrenciler, VR teknolojisi sayesinde daha fazla katılım göstermiş ve derslerde daha aktif bir rol almışlardır. Ayrıca, VR uygulamaları öğrencilerin ilgisini çekmiş ve öğrenme motivasyonlarını artırmıştır. Benzer şekilde Hung vd., (2008) öğrencinin bilgiyi kendi zihinsel sürecinde yeniden

değerlendirerek deneyimleyebilmesinin önemini belirtmektedir. Kişilerin duygusal durumlarının problem çözme becerilerini etkilediği de birçok çalışmada ortaya koyulmuştur (Tyng vd., 2017).

VR teknolojisinin eğitimde kullanımı, özellikle pratik becerilerin kazandırılmasında ve tehlikeli veya zor erişilebilen ortamlarda yapılan uygulamalarda büyük avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada, su ürünleri mühendisliği eğitimi kapsamında yapılan VR uygulamalarının, öğrencilerin teorik bilgilerini pratik becerilere dönüştürmelerine yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, VR ortamında yapılan simülasyonlar, öğrencilerin hata yapma korkusu olmadan deneyim kazanmalarını sağlamış ve bu sayede öğrenme süreçlerini hızlandırmıştır. Pek çok çalışma VR uygulamalarının farklı alanlardaki öğrenme deneyimine katkılarını belirtmektedir (Lartigue & Lombardo, 2014; Kolb, 2015).

Öğrencilerin VR uygulamalarına yönelik geri bildirimleri, bu teknolojinin eğitimde daha fazla kullanılmasını desteklemektedir. Öğrenciler, VR uygulamalarının eğitimlerine olan katkısını ve gerçeklik algısını olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. VR teknolojisinin sunduğu interaktif ve görsel öğrenme ortamı, öğrencilerin derslere olan ilgisini artırmış ve öğrenme sürecini daha etkili hale getirmiştir. McKerlich vd. (2011) VR teknolojisinin nesnelerin üç boyutlu temsili ve varlık hissi ile öğrenim sürecine fayda sağlayacağını vurgulamaktadır.

Çalışmanın bulguları, VR destekli eğitim uygulamalarının su ürünleri mühendisliği öğrencilerine sektörel deneyim kazandırmada etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bu araştırma, VR'ın su ürünleri mühendisliği gibi deneyimsel öğrenme gerektiren disiplinlerdeki uygulanabilirliğini test eden az sayıdaki çalışmalardan biri olması açısından literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, bu teknoloji ile eğitim süreçlerinin geliştirilebileceği ve sektör için nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak, sanal gerçeklik uygulamalarının su ürünleri mühendisliği eğitiminde kullanılmasının öğrencilere önemli faydalar sağladığı belirlenmiştir. Bu nedenle, su ürünleri mühendisliği eğitiminde sanal gerçeklik teknolojisinin yaygınlaştırılması önerilmektedir. Bu çalışma Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği öğrencilerinin katılımı ile gerçekleştirilmiştir. İleride daha kapsamlı gruplar ile yapılacak çalışmalar bu teknolojinin genel kullanılabilirliğini de ortaya koyacaktır. Gelecekteki araştırmalar, VR'nin farklı eğitim seviyelerindeki etkilerini ve uzun vadeli bilgi kalıcılığı üzerindeki katkılarını incelemelidir. Ayrıca, farklı sektörlerle yönelik özelleştirilmiş VR içeriklerinin geliştirilmesi, bu

teknolojinin kapsamını genişletmek için önemli bir adımdır. Diğer mühendislik ve bilim dallarında da benzer uygulamaların kullanılması, eğitimde yenilikçi ve etkili yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abbas, J.R., O'Connor, A., Ganapathy, E., Isba, R., Payton, A., McGrath, B., ... & Bruce, I.A. (2023).** What is virtual reality? A healthcare-focused systematic review of definitions. *Health Policy and Technology*, 12(2), 100741.
- Alexandratos, N. & Bruinsma, J. (2012).** *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO.
- Atar, H.H. & Ataman, T.G. (2016).** İklim değişikliğinin su ürünleri yetiştiriciliği üzerindeki etkileri. *Ziraat Mühendisliği*, 363, 17-22.
- Bahadır Koca, S., Terzioğlu, S., Didinen, B.I. & Yiğit, N.Ö. (2011).** Sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğinde çevre dostu üretim. *Ankara Üniversite Çevrebilimleri Dergisi*, 3(1), 107-113.
- Bjorndal, T., Dey, M. & Tusvik, A. (2024).** Economic analysis of the contributions of aquaculture to future food security. *Aquaculture*, 578, 740071.
- Bruner, J.S. (1979).** *On Knowing: Essays for the Left Hand*. Harvard University Press.
- Clements, D.H. & Battista, M.T. (1990).** Constructivist learning and teaching. *Arithmetic Teacher*, 38(1), 34-35.
- DeFreitas, S. & Neumann, T. (2009).** The use of "serious games" for engaging learners in the content of a physics course. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(3), 35-46.
- Diken, G. (2020).** Antropojenik iklim değişikliğinin balıkçılık ve su ürünleri üzerine etki ve yönetim stratejilerine genel bir bakış. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(3), 295-303. DOI: 10.35229/jaes.718925
- Düren, E. (2024).** *G20 ülkelerinde gıda güvenliği ve ekonomik büyüme ilişkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 61s.
- Erdoğan, S., Çakar, N.D., Ulucak, R. & Danish Kassouri, Y. (2021).** The role of natural resources abundance and dependence in achieving environmental sustainability: evidence from resource-based economies. *Sustainable Development*, 29, 143-154. DOI: 10.1002/sd.2137
- Ernst, D.H., Bolte, L. & Schreck, C.B. (2000).** Aquafarm: A simulation and decision model for fish farming. *Journal of Aquaculture Engineering*, 24(3), 161-182.
- FAO. (2020).** The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome.
- FAO. (2021).** FAO yearbook. Fishery and aquaculture statistics 2019/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019/FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019. Rome.

- Filipski, M. & Belton, B. (2018).** Give a man a fishpond: modeling the impacts of aquaculture in the rural economy. *World development*, **110**, 205-223.
- Holden, E., Linnerud, K. & Banister D. (2014).** Sustainable development: Our common future revisited. *Global Environmental Change*, **26**, 130-139.
- Hung, D.W.L., & Wong, K.T. (2008).** Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational Technology Research and Development*, **48**(4), 49-67.
- Kara, K.Ö. & Yereli, A.B. (2022).** İklim değişikliğinin yönetimi ve tarım sektörü. *Afet ve Risk Dergisi*, **5**(1), 36-379.
- Karatani, K. (2005).** *Transcritique: On Kant and Marx*. MIT Press.
- Khalid, A. (2022).** Climate change's impact on aquaculture and consequences for sustainability. *Acta Aquatica Turcica*, **18**(3), 426-435. DOI: [10.22392/actaquatr.1095421](https://doi.org/10.22392/actaquatr.1095421)
- Kolb, D.A. (2015).** *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. FT Press.
- Lartigue, B.P. & Lombardo, F. (2014).** Evaluating the educational potential of immersive virtual reality for first year architectural studies. *Journal of Computers in Education*, **1**(3), 345-362.
- McKerlich, R., Riis, M., Anderson, T. & Eastman, B. (2011).** Student perceptions of teaching presence, social presence, and cognitive presence in a virtual world. *Journal of Online Learning and Teaching*, **7**(3), 324-336.
- Oxman, R. (2004).** Think-maps: Teaching design thinking in design education. *Design Studies*, **25**(1), 63-91.
- Prensky, M. (2001).** Digital natives, digital immigrants part 1. *On the Horizon*, **9**(5), 1-6.
- Schön, D.A. (1985).** *The design studio: an exploration of its traditions and potentials*. RIBA Publications.
- Simon, H.A. (1973).** The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, **4**(3-4) 181-201.
- Şen, İ., Rad, F. & Aytemiz, T. (2017).** Su ürünleri yetiştiricilik sektörü paydaşlarının iklim değişikliği bağlamında algıları. *Yunus Araştırma Bülteni*, **4**, 361-367.
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N. M., & Malik, A. S. (2017).** The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in Psychology*, **8**, 1454.
- Wichaisri, S. & Sopadang, A. (2018).** Trends and future directions in sustainable development. *Sustainable Development*, **26**, 1-17. DOI: [10.1002/sd.1687](https://doi.org/10.1002/sd.1687)
- Veznedaroğlu, S. & Özgür, H. (2005).** Öğrenme stilleri: Tanımlamalar, modeller ve işlevleri. *İlköğretim online*, **4**(2), 1-16.



Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold.) Ormanlarında Farklı Yaklaşımlarla Gösterge Bitki Türlerinin Analizi

Ayşegül TEKEŞ^{1*} Kürşad ÖZKAN²

^{1,2}Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260 Isparta, Türkiye

Received: 07.11.2024

Accepted: 23.01.2025

Published: 31.01.2025

Atf yapmak için: Tekeş, A. & Özkan, K. (2025). Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold.) ormanlarında farklı yaklaşımlarla gösterge bitki türlerinin analizi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 69-78. <https://doi.org/10.35229/jaes.1581328>

How to cite: Tekeş, A. & Özkan, K. (2025). Analysis of indicator plant species in red pine (*Pinus brutia* Ten.) and black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) forests with different approaches. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(1), 69-78. <https://doi.org/10.35229/jaes.1581328>

* <https://orcid.org/0000-0003-4515-7258>

<https://orcid.org/0000-0002-8526-7243>

***Corresponding author's:**

Ayşegül TEKEŞ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Orman Fakültesi, 32260 Isparta, Türkiye
 tekesaysegull@gmail.com

Öz: Bu çalışma, Bozdağlar Yöresinde bulunan kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçamın (*Pinus nigra* J.F.Arnold) gösterge bitki türlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 170 örnek alan verisi kullanılmıştır ve vejetasyon veri seti var-yok olarak düzenlenmiştir. Ardından bu veri seti nitelikler arası ilişki analizi, Spearman sıralama korelasyon katsayısı analizi, Kendall Tau katsayısı analizi ve indikatör tür analizine göre değerlendirilmiştir. Tüm bu analizlerin sonucunda, kızılçam için en önemli pozitif gösterge tür *Cistus creticus* L., karaçam için en önemli pozitif gösterge tür *Chamaecytisus pygmaeus* (Willd.) Rothm. olarak belirlenmiştir. Farklı analiz yöntemlerinin kullanılması, her iki hedef tür için en önemli pozitif ve negatif gösterge türlerinin belirlenmesini sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar ise gösterge türlerin ekolojik rollerine ilişkin güçlü kanıtlar sunmaktadır. Analizler sonucunda ayrıca yöntemler arasında belirlenen gösterge türlerin sayısı ve çeşitliliği bakımından farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılıklar, kullanılan yöntemlerin temel aldığı algoritmalarla kaynaklanmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi ve korunmasına ilişkin pratik bilgiler sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar kelimeler: Gösterge bitki türü, hedef tür, indikatör tür analizi, karaçam, kendall tau, kızılçam.

Analysis of Indicator Plant Species in Red Pine (*Pinus brutia* Ten.) and Black Pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) Forests with Different Approaches

Abstract: This study was conducted to identify indicator plant species for red pine (*Pinus brutia* Ten.) and black pine (*Pinus nigra* J.F.Arnold) within the Bozdağlar Region. Data from 170 sample plots were utilized, organized in a presence-absence format. The vegetation dataset was then evaluated using interspecific correlation analysis, Spearman's rank correlation coefficient analysis, Kendall's Tau coefficient analysis, and indicator species analysis. As a result of these analyses, *Cistus creticus* L. was identified as the most significant positive indicator species for red pine, and *Chamaecytisus pygmaeus* (Willd.) Rothm. for black pine. The use of different analysis methods allowed the identification of the most important positive and negative indicator species for both target species. These results provide strong evidence for the ecological role of indicator species. The analyses also revealed differences in the number and diversity of indicator species identified between the methods. These differences are due to the algorithms on which the methods are based. The findings of the study aim to provide practical information on the sustainable management and conservation of forest ecosystems.

Keywords: Indicator plant species, target species, indicator species analysis, black pine, kendall's tau, red pine.

GİRİŞ

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold), Türkiye'de geniş bir yayılışa sahiptir. Orman ekosistemlerinin asli ağaç türleri arasında yer almakta olan bu türler, farklı ekolojik koşullara uyum sağlamaktadır. Kızılçam, Pinaceae (Çamgiller) familyasına ait olup, Akdeniz ikliminin görüldüğü,

Türkiye, Yunanistan ve İtalya gibi Akdeniz çevresindeki ülkelerde geniş bir dağılım göstermektedir (Biger & Lipschitz, 1991). Bu tür ülkemizde Akdeniz ve Ege bölgeleri ile Güney Marmara ve Karadeniz ardı bölümlerinde, deniz seviyesinden 1500 metreye kadar geniş bir coğrafyada görülmektedir (Dönmez & Aydınöz, 2012; Atalay & Efe, 2015). Ekonomik ve ekolojik açıdan

önemli olan tür, kereste endüstrisinde (Erten & Taşkın, 1985; Ketten & Gülsoy, 2020) ve reçine üretimi (Yaşar vd., 2024) gibi alanlarda geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir. Ekolojik açıdan ise, yangına dayanıklılığı ve yeniden yeşerebilme kabiliyetiyle yangın sonrası ormanların yenilenmesinde önemli rol oynamaktadır (Tavşanoğlu, 2009; Atalay & Efe, 2015; Tüfekçioğlu vd., 2022). Aynı zamanda toprak erozyonunu önleme, su kaynaklarını koruma ve biyolojik çeşitliliği destekleme gibi ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Yüksek sıcaklık ve kuraklık gibi zorlu iklim koşullarına karşı dayanıklı olması, kızılçam Akdeniz havzasındaki ormanların sürdürülebilirliğinde anahtar türlerden biri haline getirmiştir (Atalay & Efe, 2015).

Karaçam ise, yine Pinaceae (Çamgiller) familyasına ait olup, Anadolu'da dört farklı varyetesi bulunmakta ve yaklaşık 30-40 m'ye kadar boylanabilmektedir. Dünya ölçeğinde Kuzeybatı Afrika'dan, Güney Avrupa boyunca küçük Asya'ya kadar olan alanda dağılım göstermektedir (Vacek vd., 2023). Türkiye'de ise nemli veya karasal iklim koşullarının görüldüğü Ege Bölgesi, Akdeniz Bölgesi, İç Anadolu ve Karadeniz'de yaklaşık 800-1500 m yükselti aralığında dağılım göstermektedir (Dönmez & Aydınözü, 2012; Günel, 2013). Ekolojik açıdan ışık isteyen, rüzgâra, kuraklığa (Isajev vd., 2004) ve düşük sıcaklıklara karşı dayanıklılığı (Bussotti, 2002) ile geniş adaptasyon yeteneği sayesinde ormancılık çalışmalarında değerli bir tür olarak öne çıkmaktadır. Karaçam, odununun dayanıklı ve işlenmesinin kolay olması nedeniyle kereste, mobilya, kâğıt ve kimya sanayileri başta olmak üzere birçok sektörde tercih edilmektedir (Oğuzoğlu & Özkan, 2015; Giovannelli vd., 2017; Vacek vd., 2023).

Türkiye'de ormanlık alanların %22,81'ini kızılçam, %17,48'ini ise karaçam oluşturmakta olup (OGM, 2023), bu iki hedef tür yukarıda da bahsedildiği gibi farklı habitat özelliklerine sahiptir. Bu durum kızılçam ve karaçam ormanlarında yaşayan bitki türlerinin çeşitliliğini artırmaktadır. Orman ekosistemlerinin sağlıklı ve sürdürülebilir yönetimi için sahip oldukları bitki topluluklarının yapısını ve ekolojik fonksiyonlarını anlamak önem arz etmektedir (Özdemir vd., 2014; Atalay & Efe, 2015; Tekeş, 2024a; Acarer & Mert, 2025). Orman ekosistemlerinin sağlığını ve biyoçeşitliliğini değerlendirmede, gösterge tür analizleri, tanımlayıcı olan bazı çevresel koşulları yansıtan bitki türlerini tespit etmeye yönelik pratik bilgiler sunmaktadır (Rolstad vd., 2002; Carni vd., 2022). Gösterge türler, spesifik ekolojik koşulların varlığını veya ekosistemlerin sağlık durumunu gösteren ve dolayısıyla biyoçeşitliliği temsil etme kapasitesine sahip türlerdir. Ekosistem sağlığının ve habitat kalitesinin bir göstergesi olan bu türler, genellikle doğrudan ölçülmesi zor olan çevresel koşulları veya tür

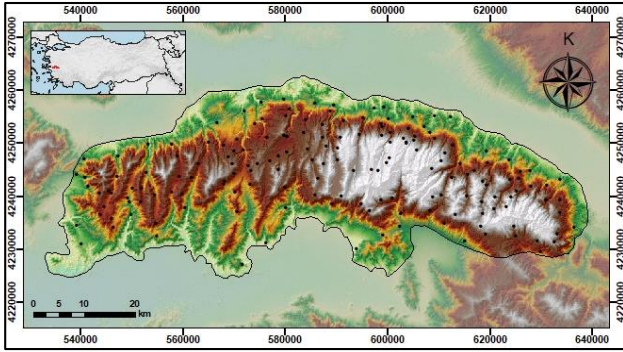
topluluklarını değerlendirmenin pratik bir yolu olarak tercih edilmektedir (Rolstad vd., 2002). Gösterge türler, ekosistemlerde farklı taksonomik grupların temsilcisi olarak kullanılıp ekosistem sağlığını, çeşitliliği ve habitat uygunluğunu anlamaya katkıda bulunmaktadır (Carignan & Villard, 2002; Siddig vd., 2016). Ekosistem dinamiklerinin anlaşılması, hangi bitki türlerinin belirli ekolojik koşullarla ilişki gösterdiğini anlamakla mümkündür. Gösterge türler, orman ekosistemlerinde çevresel değişkenlerin etkisini incelemek için yararlı bir araçtır (Tekeş & Özkan, 2024). Ekosistemlerde nem, sıcaklık, toprak özellikleri gibi habitat parametrelerinin doğrudan ölçülmesinin mümkün olmadığı durumlarda gösterge türler dolaylı bilgi sağlamaktadır (Gülsoy vd., 2013; Siddig vd., 2016).

Bu çalışmada, Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde Akdeniz ve karasal iklimin kesişim noktasında bulunan Bozdağlar'da, kızılçam ve karaçam ormanlarının ekolojik koşullarını yansıtan gösterge bitki türlerinin farklı yöntemlerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda dört farklı yöntem kullanılmıştır. Bozdağlar'ın alçak kesimlerinde (düşük rakımlı bölgelerinde) kızılçam, yüksek kesimlerinde ise karaçam ormanlarının yaygın olması, farklı yükselti, toprak ve iklim koşullarının aynı bölgede incelenmesine imkân tanımaktadır. Bu özgün ekolojik yapı, kızılçam ve karaçamın çevresel değişkenlere nasıl tepki verdiğini ortaya koymak için ideal bir çalışma alanı sunmaktadır. Çalışma kapsamında, bu iki ağaç türünün varlığı ve dağılımıyla ilişkili çevresel koşulları en iyi yansıtan pozitif ve negatif gösterge bitki türleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, Bozdağlar'daki orman ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi ve korunmasına yönelik pratik bilgiler sağlamayı ve benzer ekosistemler için önemli bir referans kaynağı oluşturmayı amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı: Çalışma alanı, Türkiye'nin batısında yer alan Bozdağlar (Manisa-İzmir) Yöresinde, toplam 259.000 ha'lık alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Yörede Akdeniz iklimi hakimdir; yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçmektedir. Bitki coğrafyası bakımından Akdeniz Fitocoğrafik Bölgesi içerisinde yer alan Bozdağlar'da, orman, maki, Akdeniz dağ stepi ve subalpinik vejetasyon tipleri görülmektedir (Atalay & Efe, 2015). Yöredeki orman ekosistemleri kızılçam (*P. brutia*), karaçam (*P. nigra*) ve kestane (*Castanea sativa* Mill.) topluluklarından oluşmaktadır (Günel, 1987; Bekat & Oflas, 1990). Bozdağlar, jeolojik yapısı itibarıyla Menderes masifinin bir parçası olup, Paleozoik yaşlı şistler ve Prekambrien gnayslarla karakterize edilen karmaşık bir jeolojik geçmişe sahiptir. Bölgede kahverengi orman toprakları, kırmızı Akdeniz toprakları, rendzinalar, alüvyal

ve kolüvyal toprak türleri yaygın olarak bulunmaktadır (Koçman, 1985, 1989; Vardar, 2018; Atalay vd., 2022; Tekeş, 2024b).



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve örnek alanların temsili dağılımını gösteren harita.

Figure 1. Map showing the location of the study area and the representative distribution of sampling sites.

Yöntem

Arazi Envanter Çalışmaları ve Verilerin

Düzenlenmesi: Arazi çalışmaları 20x20 m (400 m²) boyutlarındaki örnek alanlarda gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 170 örnek alanda (Şekil 1) arazi envanter çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında, tüm örnek alanlarda bitki türlerine ilişkin veriler toplanmış ve bu veriler literatürde sıkça önerilen Braun-Blanquet Skalası kullanılarak envanter karnelerine kaydedilmiştir (Çepel, 1995; Fontaine vd., 2007; Özkan & Negiz, 2011; Negiz & Erfidan, 2023). Arazi çalışmaları sırasında toplanan bitki örnekleri herbaryum kurallarına uygun bir şekilde kurutularak, herbaryum materyali haline getirilmiştir.

Kurutulan bitki örneklerinin teşhis işlemleri Flora of Turkey and the East Aegean Islands” [Türkiye ve Doğu Ege Adaları Florası] adlı esere göre gerçekleştirilmiştir (Davis 1965-1985; Davis vd., 1988; Güner vd., 2000). Teşhis işlemleri tamamlandıktan sonra veri seti düzenlenmiş ve bitkilerin Latince isimleri Türkiye Bitkileri Listesi (Güner vd., 2012) kullanılarak güncellenmiştir. Ardından bitkilerin Latince isimleri kısaltılarak kodlanmıştır. Hazırlanan veri seti, gösterge tür analizlerinin yapılabilmesi için var-yok veri setine dönüştürülmüştür (Özkan, 2002; Özdemir vd., 2017; Negiz & Erfidan, 2023).

İstatistiksel Analizler: Bitki türlerine ait var-yok veri seti üzerinde kızılçam ve karaçamın bulunduğu habitatlarda gösterge bitki türlerini ve ilişki yönünü (pozitif/negatif) belirlemek amacıyla çeşitli istatistiksel analizler uygulanmıştır. Bunlar nitelikler arası ilişki analizi (interspesifik korelasyon analizi), Spearman sıralama korelasyon katsayısı analizi, Kendall Tau katsayısı analizi ve indikatör tür analizidir. Nitelikler arası ilişki analizi için C3 formülü (Cole, 1949; Özkan, 2002), Spearman sıralama korelasyon katsayısı analizi ve Kendall Tau katsayısı

analizi için PAST yazılımı (Press vd., 1992; Hammer vd., 2001; Hammer & Harper, 2024), indikatör tür analizi için PC-ORD yazılımı kullanılmıştır (McCune & Mefford, 2011).

BULGULAR

Araştırma sahasında, kızılçam (*P. brutia*) ve karaçam (*P. nigra*) ormanlarının bulunduğu habitatlarda toplam 139 bitki türü tespit edilmiştir (EK Tablo 1). Kızılçam ve karaçamın yanı sıra yörede yayılış gösteren başlıca orman ağacı türleri arasında saçlı meşe (*Quercus cerris* L.) ve boylu ardıç (*Juniperus excelsa* M.Bieb) yer almaktadır. Ayrıca yörede yayılış gösteren ve odun dışı orman ürünü niteliği taşıyan çeşitli odunsu ve otsu bitki türleri bulunmaktadır. Bu türlerden özellikle *Amygdalus graeca* Lindl., *Arbutus andrachne* L., *Cistus creticus* L., *Cistus laurifolius* L., *Cistus salviifolius* L., *Crataegus monogyna* Jacq. var. *monogyna*, *Juniperus oxycedrus* L., *Pistacia terebinthus* L., *Pyrus amygdaliformis* Vill. var. *amygdaliformis*, *Quercus coccifera* L., *Rosa canina* L., *Rubus caesius* L., *Sideritis lanata* L., *Thymus longicaulis* C. Presl subsp. *chaubardii* (Rchb.f.) Jalas var. *chaubardii* gibi türler bölgede yaygın olarak gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında kızılçam ve karaçam hedef türleri için, gösterge bitki türlerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Tüm analizlerde istatistiksel anlamlılık için $p < 0.01$ eşik değeri esas alınmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Nitelikler arası ilişki analizi sonuçlarına göre, *P. brutia* hedef türü için 10 pozitif ve 11 negatif gösterge (Ek Tablo 2), *P. nigra* hedef türü için ise 16 pozitif ve 8 negatif gösterge (Ek Tablo 3), Spearman sıralama korelasyon katsayısı analiz sonuçlarına göre, *P. brutia* hedef türü için 11 pozitif ve 11 negatif gösterge, *P. nigra* hedef türü için 16 pozitif ve 8 negatif gösterge (Ek Tablo 4), Kendall Tau katsayısı analiz sonuçlarına göre *P. brutia* hedef türü için 36 pozitif ve 48 negatif gösterge, *P. nigra* hedef türü için ise 57 pozitif ve 22 negatif gösterge (Ek Tablo 5), İndikatör tür analizi sonuçlarına göre, *P. brutia* hedef türü için 8 pozitif ve 8 negatif gösterge (Ek Tablo 6), *P. nigra* hedef türü için 10 pozitif ve 2 negatif gösterge türü (Ek Tablo 7) tespit edilmiştir.

Analizler sonucunda, belirlenen önem seviyesi ($p < 0.01$) değerine göre, *P. brutia* hedef türü için en önemli pozitif gösterge türleri *Cistus creticus* (Ciscrc), *Quercus coccifera* (Quecoc), *Onobrychis crista-galli* (Onocri), *Phillyrea latifolia* (Philat), *Asparagus acutifolius* (Aspacu), *Cistus salviifolius* (Cissal), *Geranium purpureum* (Gerpur) ve *Ranunculus paludosus* (Ranpal), en önemli negatif gösterge türleri ise *P. nigra* (Pinnig), *Rosa canina* (Roscan), *Euphorbia anacampseros* var. *tmolea* (Eupana), *Minuartia juressi* subsp. *asiatica* (Minjur), *Thymus longicaulis* subsp. *chaubardii* var. *chaubardii* (Thylon), *Pteridium aquilinum* (Pteaqu),

Carduus nutans (Carnut) ve *Trifolium arvense* var. *arvense* (Triarv) olarak belirlenmiş ve tüm analiz sonuçlarında ortak olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 1).

P. nigra hedef türü için en önemli pozitif gösterge türleri *Chamaecytisus pygmaeus* (Chapyg), *Bellis perennis* (Belper), *Huetia cynapioides* subsp. *macrocarpa* (Huecyn), *Tanacetum* sp. (Tansp.), *Silene conica* (Silcon), *Cistus salviifolius* (Cislau), *Doronicum orientale* (Dorori), *Holosteum umbellatum* var. *tenerrimum* (Holumb), *Erodium hoefftianum* (Erohoe) ve *Rosa canina* (Roscan), en önemli negatif gösterge türleri ise *P. brutia* (Pinbru) ve *Quercus coccifera* (Quecoc) olarak belirlenmiş ve tüm analiz sonuçlarında ortak olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. *Pinus brutia* ve *Pinus nigra* hedef türleri için tüm analiz yöntemlerinde ortak olan pozitif ve negatif gösterge türleri.

Table 1. Positive and negative indicator species common across all analysis methods for the target species *Pinus brutia* and *Pinus nigra*.

Hedef Tür	Pozitif Gösterge Türler	Negatif Gösterge Türler
<i>P. brutia</i>	Ciscire, Quecoc, Onocri, Philat, Aspacu, Cissal, Gerpur, Ranpal	Pinnig, Roscan, Eupana, Minjur, Thylon, Pteaqu, Carnut, Triarv
<i>P. nigra</i>	Chapyg, Belper, Huecyn, Tansp., Silcon, Cislau, Dorori, Holumb, Erohoe, Roscan	Pinbru, Quecoc

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Bozdağlar Yöresindeki kızılçam (*P. brutia*) ve karaçam (*P. nigra*) ormanlarına özgü gösterge bitki türlerinin dört farklı analiz yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. *P. brutia* hedef türü için yapılan analizlerde, tüm yöntemlerde en önemli pozitif gösterge tür Ciscire, en önemli negatif gösterge tür ise Pinnig olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Ciscire'nin kızılçam türünün ormanlarının ekolojik özelliklerine yüksek bir uyum sağladığını, buna karşılık Pinnig'in bu alanlarda daha düşük toleransa sahip olduğunu göstermektedir. Benzer çalışmalar incelendiğinde, Negiz & Erfidan (2023), Akdağ (Burdur) Yöresi'nde kızılçamın en önemli pozitif göstergesinin *Sytrax officinalis*, en önemli negatif göstergesinin ise *P. nigra* olduğunu ifade etmiştir. Gösterge türlerin değişiminde ise farklı çalışma alanlarında çevresel etmenlerin varyasyonunun belirleyici olduğu ifade edilmiştir (Gülsoy vd., 2013). *P. nigra* hedef türü için yapılan analizlerde ise en önemli pozitif gösterge türü Chapyg, en önemli negatif gösterge türü ise Pinbru olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Chapyg'nin, karaçam türünün ormanlarının ekolojik özellikleri ile yüksek uyum gösterdiği, buna karşılık Pinbru'nun bu alanlarda daha düşük tolerans gösterdiği anlaşılmaktadır. Türkiye'nin farklı bölgelerinde karaçamla ilgili yapılan çalışmalarda, bu çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik ve farklılıkların olduğu gözlenmektedir. Örneğin, Özkan (2002) Beyşehir Gölü Havzası'nda *Cistus laurifolius* L., Öztürk & Güvenç (2010) ise *Pseudevernia fufuracea* var. *fufuracea* (L.) Zopf. türünü karaçamın önemli bir göstergesi olarak tanımlamışlardır. Gülsoy vd., (2013) Acıpayam (Denizli)

Yöresi'nde *Cedrus libani* A.Rich. türünü karaçamın en önemli pozitif göstergesi olarak tanımlarken, *P. brutia* türünü en önemli negatif göstergesi olarak saptamıştır. Negiz & Erfidan (2023) Akdağ (Burdur) Yöresi'nde karaçamın en önemli pozitif göstergesini *Cistus laurifolius*, en önemli negatif göstergesini *P. brutia* olarak tespit etmişlerdir.

Görüldüğü üzere bu çalışmanın sonuçları, literatürdeki bulgularla hem uyumlu hem de belirli farklılıklar göstermektedir. Bu durumun başlıca sebebi, ülkemizde kızılçam ve karaçamın geniş bir yayılış alanına sahip olmasıdır. Bu türlerin dağılım alanlarında eşlik eden bitki türleri, çeşitli çevresel faktörlerden etkilenmekte ve bu faktörler yerel olarak bitki türlerinin kompozisyonunda değişikliklere yol açmaktadır. Dolayısıyla, hedef türlerin gösterge bitki türlerini belirlemeye yönelik çalışmaların, bu türlerin ekolojik koşullara özgü karakteristiklerini daha iyi anlamak amacıyla yerel ölçekte yapılması önem arz etmektedir (Gülsoy vd., 2013; Özdemir & Çınar, 2023; Ürkmez & Gülsoy, 2023).

Bu çalışmada ayrıca dört analiz yönteminin tümünde, her iki hedef tür için en önemli pozitif ve negatif gösterge bitki türlerinin aynı olduğu belirlenmiştir. Bu durum, mevcut bitki türlerinin ekolojik rollerinin güçlü göstergeler olduğunu ve kullanılan yöntemlerden bağımsız olarak anlamlı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ancak yöntemler arasında belirlenen gösterge türlerin sayısı ve çeşitliliği açısından önemli farklılıklar gözlemlenmiştir. Örneğin, Kendall Tau katsayısı analizi, sıralı verilerle daha hassas ve kapsamlı bir ilişki ölçümü sağlaması nedeniyle diğer yöntemlere göre daha fazla sayıda pozitif ve negatif gösterge tür belirlemiştir. Bu analiz, türler arasındaki zayıf fakat istatistiksel olarak anlamlı ilişkileri de gösterge tür olarak değerlendirdiği için daha fazla tür ortaya çıkmıştır (Ghent, 1963; Chen vd., 2022). Öte yandan, indikatör tür analizi, sadece yüksek anlam düzeyine sahip türleri değerlendirdiğinden, daha az sayıda gösterge tür belirlemiştir (Ghent, 1963). Bu farklı yaklaşımların bir arada kullanımı, her iki hedef türün ekolojik gereksinimlerinin daha kapsamlı şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Özetle yöntemler arasındaki farklılıklar, her birinin kendine özgü istatistiksel yaklaşımlarından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, Bozdağlar Yöresindeki kızılçam ve karaçam ekosistemleri arasındaki ekolojik farklılıkları bitki örtüsündeki varyasyonlarla desteklemektedir. İklim değişikliği etkisi altında, bu iki ekosistem tipinde belirli bitki türlerinin popülasyon dinamiklerinde ve dağılım alanlarında değişiklikler yaşanabileceği öngörülmektedir (Chapin III, 2003; Acarer, 2024a; Acarer, 2024b; Ertürk & Arıcak, 2024). Bu bağlamda, kızılçam ve karaçam ekosistemlerine özgü gösterge bitki türlerinin belirlenmesi, bu iki türün habitat

tercihleri, ekolojik gereksinimlerinin anlaşılması ve bu ekosistemlerin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu veriler, kızılçam ve karaçam ormanlarının sürdürülebilir yönetiminde stratejik kararların alınmasına rehberlik edebilecek niteliktedir. Aynı zamanda bu araştırma ağaçlandırma çalışmalarında da değer taşımaktadır. Ağaçlandırma projeleri, maliyetli ve uzun vadeli yatırımlar olduğundan, bu projelerde hedef türlerin doğal ekolojik uyumlarını gözetmek başarı oranını artırabilmektedir. Doğru bitki türlerinin seçimi, ağaçlandırmanın yapılacağı alanın ekolojik koşullarıyla uyumlu olacak şekilde yapılmalıdır. Gösterge bitki türleri, ağaçlandırma potansiyeline sahip alanlarda hangi türlerin ekolojik açıdan uygun olduğunu veya uygun olmadığını belirlemek açısından pratik bilgiler sunmaktadır (Godefroid & Koedam, 2003; Gülsoy vd., 2013). Bu şekilde, hedef türlerin doğal yayılış özellikleriyle uyumlu ağaçlandırma çalışmalarının, başarılı ve sürdürülebilir orman restorasyonu için önemli bir temel sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2022 yılında Ordu'da düzenlenen 6. Uluslararası Hesaplamalı Matematik ve Mühendislik Bilimleri Konferansı (6th International Conference on Computational Mathematics and Engineering Sciences - CMES) kapsamında sözlü bildiri olarak sunulan çalışmanın genişletilmesiyle oluşturulmuştur.

Bu çalışma "Ege Bölgesi-Bozdağlar Yöresi'nde bitki tür çeşitliliğinin günümüz ve iklim değişimi altında potansiyel dağılım modellemesi ve haritalaması" başlıklı doktora tezinin verilerinden üretilmiştir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 222O236 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- Acarer, A. (2024a). Response of black pine (*Pinus nigra*) in southwestern Anatolia to climate change. *BioResources*, **19**(4), 8594-8607. DOI: [10.15376/biores.19.4.8594-8607](https://doi.org/10.15376/biores.19.4.8594-8607)
- Acarer, A. (2024b). Role of climate change on Oriental spruce (*Picea orientalis* L.): Modeling and mapping. *BioResources*, **19**(2), 3845-3856. DOI: [10.15376/biores.19.2.3845-3856](https://doi.org/10.15376/biores.19.2.3845-3856)
- Acarer, A. & Mert, A. (2025). Tınaz Dağının (Burdur) sosyoekonomik koşulları ve arazi kullanımı açısından 20 yıllık değişimi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, **11**(1), 1-9. DOI: [10.53516/ajfr.1578759](https://doi.org/10.53516/ajfr.1578759)
- Atalay, İ. & Efe, R. (2015). *Türkiye biyocoğrafyası*. Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Atalay, İ., Siler, M. & Altunbaş, S. (2022). Türkiye'de oyuntu erozyonu oluşumu ile ana materyal arasındaki ilişkiler. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, **20**(1), 84-120. DOI: [10.33688/aucbd.982732](https://doi.org/10.33688/aucbd.982732)
- Bekat, L. & Ofilas, S. (1990). Bozdağ (Ödemiş) Vegetasyonu. *X. Ulusal Biyoloji Kongresi*, 18-20 Temmuz 1990, Erzurum, Türkiye, 257-270.
- Biger, G. & Liphshitz, N. (1991). The recent distribution of *Pinus brutia*: a reassessment based on dendroarchaeological and dendrohistorical evidence from Israel. *The Holocene*, **1**(2), 157-161. DOI: [10.1177/095968369100100208](https://doi.org/10.1177/095968369100100208)
- Bussotti, F. (2002). *Pinus nigra* Arnold. In: Pines of silvicultural importance. Wallingford-New York, CAB International: 266-285.
- Carignan, V. & Villard, M.A. (2002). Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental monitoring and assessment*, **78**, 45-61. DOI: [10.1023/A:1016136723584](https://doi.org/10.1023/A:1016136723584)
- Carni, A., Conc, Ş. & Valjavec, M.B. (2022). Landform-vegetation units in karstic depressions (dolines) evaluated by indicator plant species and Ellenberg indicator values. *Ecological Indicators*, **135**. DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.108572](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108572)
- Çepel, N. (1995). *Orman Ekolojisi*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Üniversite Yayın No.3886.Orman Fakültesi Yayın No.433, 536s. İstanbul.
- Chapin III, F.S. (2003). Effects of plant traits on ecosystem and regional processes: a conceptual framework for predicting the consequences of global change. *Annals of Botany*, **91**(4), 455-463. DOI: [10.1093/aob/mcg041](https://doi.org/10.1093/aob/mcg041)
- Chen, S., Ghadami, A. & Epureanu, B.I. (2022). Practical guide to using Kendall's τ in the context of forecasting critical transitions. *Royal Society Open Science*, **9**(7). DOI: [10.1098/rsos.211346](https://doi.org/10.1098/rsos.211346)
- Cole, L.C. (1949). The measurement of interspecific association. *Journal Ecology*, **30**(4), 411-424. DOI: [10.2307/1932444](https://doi.org/10.2307/1932444)
- Davis, P.H. (1965-1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Island (Vols.1- 9)*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Davis, P.H., Mill, R.R. & Tan, K. (1988). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Vol. 10 (suppl.))*. Edinburgh, Edinburgh University Press.
- Dönmez, Y. & Aydınözü, D. (2012). Bitki özellikleri açısından Türkiye. *Coğrafya Dergisi*, **1**(24), 1-17.
- Erten, P. & Taşkın, O. (1985). *Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Kabuklarında Tanen Miktarının Saptanmasına İlişkin Araştırmalar*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 147, Ankara.
- Ertürk, N. & Arıca, B. (2024). Possible changes in red pine (*Pinus brutia* Ten.) distribution areas in Kastamonu due to global climate change. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, **10**(1), 29-37. DOI: [10.55385/kastamonujes.1474468](https://doi.org/10.55385/kastamonujes.1474468)
- Fontaine, M., Aerts, R., Özkan, K., Mert, A., Gulsoy, S., Suel, H., Waelkens, M. & Muys, B. (2007). Elevation and Exposition Rather Than Soil Types Determine Communities and Site Suitability in Mediterranean Mountain Forests of Southern Anatolia Turkey. *Forest Ecology and Management*, **247**(1), 18-25. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.04.021](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.021)
- Ghent, A.W. (1963). Kendall's "Tau" Coefficient as an Index of Similarity in Comparisons of Plant or Animal

- Communities. *The Canadian Entomologist*. 95(6), 568-575. DOI: 10.4039/Ent95568-6
- Giovannelli, G., Roig, A., Spanu, I., Vendramin, G.G. & Fady, B. (2017). A new set of nuclear microsatellites for an ecologically and economically important conifer: the European black pine (*Pinus nigra* Arn.). *Plant Molecular Biology Reporter*, 35, 379-388. DOI: 10.1007/s11105-017-1029-z
- Godefroid, S. & Koedam, N., (2003). Identifying indicator plant species of habitat quality and invasibility as a guide for peri-urban forest management. *Biodiversity and Conservation*, 12, 1699-1733. DOI: 10.1023/A:1023606300039
- Gülsoy, S., Şentürk, Ö. & Negiz, M.G. (2013). Hedef türler için gösterge bitki türlerinin sayısal metotlar kullanarak tespiti: Acıpayam Yöresi örneği. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 10-14.
- Günel, N. (1987). Gediz ve Büyük Menderes arasındaki sahanın bitki örtüsü özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 3(4), 93-104.
- Günel, N. (2013). Türkiye’de iklimin doğal bitki örtüsü üzerindeki etkileri. *Acta Turcica*, 1(5), 1-22.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. & Babaç, M.T. (edlr.), (2012). *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. & Baser, K.H.C. (2000). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Vol 11 (suppl.))*. Edinburgh, Edinburgh Univ Press.
- Hammer, Ø. & Harper, D.A.T. (2024). *Paleontological data analysis*, 2nd ed. Elsevier. DOI: 10.1002/9781119933960
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), 9pp.
- Isajev, V., Fady, B., Semerci, H. & Andonovski, V. (2004). *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European black pine (Pinus nigra)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.
- Keten, İ. & Gülsoy, S. (2020). Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında verimlilik ilişkileri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 88-102. DOI: 10.30516/bilgesci.740067
- Koçman, A. (1985). İzmir-Bozdağlar yöresinin yapısal jeomorfolojisi ve evrimi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 3(1), 63-86.
- Koçman, A. (1989). *Uygulamalı fiziki coğrafya çalışmaları ve İzmir-Bozdağlar Yöresi üzerinde araştırmalar*. İzmir, Ege Üniversitesi.
- McCune, B. & Mefford, M.J. (2011). *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 6.08, MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A.
- Negiz, M.G. & Erfidan, O. (2023). Akdağ (Burdur) Yöresinin Gösterge Türlerine Göre Ekolojik Değerlendirmesi ve Uygulama Önerileri. 21. *Yüzyılda Fen ve Teknik*, 10(19), 22-28.
- OGM. (2023). Orman Genel Müdürlüğü, Ormancılık İstatistikleri 2023. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> (Son Erişim Tarihi: 21.01.2025).
- Oğuzoğlu, Ş. & Özkan, K. (2008). Productivity distribution modelling of Anatolian Black Pine *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pallasiana* in the Türkmen Mountain, Eskişehir. *Biological Diversity and Conservation*, 8(2), 134-140.
- Özdemir, S., Oğuzoğlu, Ş. & Ulsan, M.D. (2014). Odun Dışı Orman Ürünlerinin Yetiştirme Ortamı Uygunluk Modellemesinde Kullanılabilecek Çevresel Değişkenlere Ait Altılık Haritaların Oluşturulması: Ovacık Dağı Örneği. II. *Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu*, 22(24), 738-749.
- Özdemir, S. & Çınar, T. (2023). Determining indicator plant species of *Pinus brutia* Ten. Site index classes using interspecific correlation analysis in Antalya (Turkey). *Cerne*, 29. DOI: 10.1590/01047760202329013188
- Özdemir, S., Negiz, M. G., Turhan, U. U., Şenol, A. & Arslan, M. (2017). Kuyucak Dağı yöresinde alfa çeşitliliğinin gösterge bitki türleri. *Turkish Journal of Forestry*, 18, 102-109. DOI: 10.18182/tjf.289095
- Özkan, K. (2002). Türler arası birlikteliğin interspesifik korelasyon analizi ile ölçümü. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 71-78.
- Özkan, K. & Negiz, M. G. (2011). Isparta yukarı gökdere yöresindeki odunsu vejetasyonun hiyerarşik yöntemlerle sınıflandırılması ve haritalanması. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 1, 27-33.
- Öztürk, Ş. & Güvenç, Ş. (2010). Comparison of the epiphytic lichen communities growing on various tree species on Mt. Uludağ (Bursa, Turkey). *Turkish Journal of Botany*, 34, 449-456. DOI: 10.3906/bot-0905-12
- Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T. & Flannery, B.P. (1992). *Numerical Recipes in C*. Cambridge University Press.
- Rolstad, J., Gjerde, I., Gundersen, V.S. & Satersdal, M. (2002). Use of indicator species to assess forest continuity: a critique. *Conservation Biology*, 16(1), 253-257. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2002.00552.x
- Siddig, A.A., Ellison, A.M., Ochs, A., Villar-Leeman, C. & Lau, M.K. (2016). How do ecologists select and use indicator species to monitor ecological change? Insights from 14 years of publication in Ecological Indicators. *Ecological Indicators*, 60, 223-230. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.06.036
- Tavşanoğlu, Ç. (2009). Akdeniz Havzası Ormanlarında Yangın Sonrası Kendiliğinden Gençleşme. I. *Orman Yangınları ile Mücadele Sempozyumu*, 7-10 Ocak, Antalya, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, sf. 310-317.
- Tekeş, A. (2024a). Katran ardıcının (*Juniperus oxycedrus* L.) gösterge bitki tür analizi ve ekolojik değerlendirmesi. 21. *Yüzyılda Fen ve Teknik Dergisi*, 11(22), 81-91.
- Tekeş, A. (2024b). *Ege Bölgesi-Bozdağlar Yöresi'nde bitki tür çeşitliliğinin günümüz ve iklim değişimi altında potansiyel dağılım modellemesi ve haritalanması*. Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Tekeş, A. & Özkan, K. (2024). The Relationship Between Certain Oak Species and Ecological Factors: An Analysis of Indicator Plant Species in Bozdağlar. *International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research*, 8(4), 307-323. DOI: /10.29329/ijiaar.2024.1109.4

- Tüfekcioğlu, İ., Ergan, G., Kaynaş, B., Aktepe, N. & Tavşanoğlu, Ç. (2022).** Akdeniz iklim bölgesindeki alt yükselti orman ve çalılıklarında yangın sonrası hızlı ekolojik değerlendirme ile restorasyon önerilerinin geliştirilmesi: Datça-Bozburun Özel Çevre Koruma Bölgesi örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 23(3), 163-177. DOI: [10.18182/tjf.1118883](https://doi.org/10.18182/tjf.1118883)
- Ürkmez, H.İ. & Gülsoy, S. (2023).** Karaçam, kızılçam, boylu ardıç ve meşe ormanlarında bitki tür çeşitliliği ve çevresel faktör ilişkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 24(3), 223-234. DOI: [10.18182/tjf.1336614](https://doi.org/10.18182/tjf.1336614)

- Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Gallo, J., Bažant, V. & Zeidler, A. (2023).** Role of black pine (*Pinus nigra* JF Arnold) in European forests modified by climate change. *European Journal of Forest Research*, 142(6), 1239-1258. DOI: [10.1007/s10342-023-01605-5](https://doi.org/10.1007/s10342-023-01605-5)
- Vardar, S. (2018).** *Lidya'nın Tmolos (Bozdağlar) Yaylalarında Jeomorfoloji, Paleocoğrafya ve Jeoarkeoloji Araştırmaları*. İstanbul, Kriter Yayınevi.
- Yaşar, M., Çağlar, L., Tez, H. & Karademir, A. (2024).** Türkiye'de reçine üretimi ve sivil ormancılığın rolü. *Ağaç ve Orman*, 5(2), 79-91.

Ek Tablo 1. Bitki Tür Listesi ve Kodları.**Supplementary Table 1.** The list of Plant Species and Their Codes.

Kodlar	Bitki Tür İsimleri	Kodlar	Bitki Tür İsimleri
Achgra	<i>Achillea grandifolia</i> Friv.	Junexc	<i>Juniperus excelsa</i> M.Bieb.
Alktin	<i>Alkanna tinctoria</i> (L.) Tausch subsp. <i>tinctoria</i>	Junoxy	<i>Juniperus oxycedrus</i> L. var. <i>oxycedrus</i>
Allpet	<i>Alliaria petiolata</i> (M.Bieb.) Cavara & Grande	Lapcop	<i>Lapsana communis</i> L. subsp. <i>pisidica</i> (Boiss. & Heldr.) Rech.
Allsco	<i>Allium scorodoprasum</i> L. subsp. <i>rotundum</i> (L.) Stearn	Lavstc	<i>Lavandula stoechas</i> L. subsp. <i>cariensis</i>
Alyfus	<i>Alyssum fulvescens</i> var. <i>stellatocarpum</i> Hub.-Mor.	Legfal	<i>Legousia falcata</i> (Ten.) Fritsch ex Janch.
Amygra	<i>Amygdalus graeca</i> Lindl.	Legspe	<i>Legousia speculum-veneris</i> (L.) Durande ex Vill.
Antacd	<i>Anthemis aciphylla</i> Boiss. var. <i>discoidea</i> Boiss.	Lenerv	<i>Lens ervoides</i> (Brign.) Grande
Antcre	<i>Anthemis cretica</i> L. subsp. <i>leucanthemoides</i> (Boiss.) Grierson	Leotub	<i>Leontodon tuberosus</i> L.
Antvul	<i>Anthyllis vulneraria</i> L. subsp. <i>praepropera</i> (Kerner) Bornm.	Lonnum	<i>Lonicera nummulariifolia</i> Jaub. & Spach subsp. <i>nummulariifolia</i>
Antwie	<i>Anthemis wiedemanniana</i> Fisch. & C.A.Mey.	Marrot	<i>Marrubium rotundifolium</i> Boiss.
Araver	<i>Arabis verna</i> (L.) R.Br.	Minjur	<i>Minuartia juressi</i> (Willd. ex Schlect.) Lacaita subsp. <i>asiatica</i> McNeill.
Arband	<i>Arbutus andrachne</i> L.	Musarm	<i>Muscari armeniacum</i> Leichtlin ex Baker
Aresp.	<i>Arenaria</i> sp.	Nepvis	<i>Nepeta viscida</i> Boiss.
Armcar	<i>Armeria cariensis</i> Boiss. var. <i>cariensis</i>	Onocap	<i>Onobrychis caput-galli</i> (L.) Lam.
Arudio	<i>Arum dioscoridis</i> Sm.	Onocri	<i>Onobrychis crista-galli</i> (L.) Lam.
Aspacu	<i>Asparagus acutifolius</i> L.	Onosp.	<i>Onopordum</i> sp.
Aspaes	<i>Asphodelus aestivus</i> Brot.	Orldau	<i>Orlaya daucoideus</i> (L.) Greuter
Astang	<i>Astragalus angustifolius</i> Lam.	Ornarm	<i>Ornithogalum armeriacum</i> Baker
Astfla	<i>Astragalus flavescens</i> Boiss.	Palisp	<i>Paliurus spina-christi</i> P. Mill.
Astpti	<i>Astragalus pilodes</i> Boiss.	Paprho	<i>Papaver rhoeas</i> L.
Astsp.	<i>Astragalus</i> sp.	Philat	<i>Phillyrea latifolia</i> L.
Asttmv	<i>Astragalus tmoleus</i> Boiss. var. <i>tmoleus</i>	Phlexa	<i>Phleum exaratum</i> subsp. <i>exaratum</i> Griseb.
Asyvir	<i>Asyneuma virgatum</i> subsp. <i>cichoriiforme</i> (Boiss.) Damboldt	Pilpil	<i>Pilosella piloselloides</i> (Vill.) Sojak subsp. <i>megalomastix</i>
Avebar	<i>Avena barbata</i> subsp. <i>barbata</i> Pott ex Link	Pinbru	<i>Pinus brutia</i> Ten.
Belper	<i>Bellis perennis</i> L.	Pinnig	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arnold
Beltri	<i>Bellardia trixago</i> (L.) All.	Pister	<i>Pistacia terebinthus</i> L.
Brohor	<i>Bromus hordeaceus</i> L. subsp. <i>hordeaceus</i>	Plachl	<i>Platanthera chlorantha</i> (Custer) Rchb. subsp. <i>chlorantha</i>
Bugarv	<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I. M. Johnst.	Plalog	<i>Plantago logopus</i> L.
Camlyr	<i>Campanula lyrata</i> Lam. subsp. <i>lyrata</i>	Plasp.	<i>Plantago</i> sp.
Cardiv	<i>Carex divisa</i> Huds.	Poapra	<i>Poa pratensis</i> L.
Carnut	<i>Carduus nutans</i> L.	Pteaqu	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn
Cencya	<i>Centaurea cyanus</i> Hill.	Pyramy	<i>Pyrus amygdaliformis</i> Vill. var. <i>amygdaliformis</i>
Centri	<i>Centaurea triumfettii</i> All.	Quecer	<i>Quercus cerris</i> L. var. <i>cerris</i>
Chapyg	<i>Chamaecytisus pygmaeus</i> (Willd.) Rothm.	Quecoc	<i>Quercus coccifera</i> L.
Chiluc	<i>Chionodoxa luciliae</i> (Boiss.) Speta	Ranpal	<i>Ranunculus paludosus</i> Poir.
Ciraca	<i>Cirsium acarna</i> (L.) Moench	Ranspr	<i>Ranunculus sprunerianus</i> Boiss.
Ciscre	<i>Cistus creticus</i> L.	Romtem	<i>Romulea tempskyana</i> Freyn.
Cislau	<i>Cistus laurifolius</i> L.	Roscan	<i>Rosa canina</i> L.
Cissal	<i>Cistus salvifolius</i> L.	Rubcae	<i>Rubus caesius</i> L.
Colmel	<i>Colutea melanocalyx</i> subsp. <i>davisiana</i> (Browicz) D.F.Chamb.	Rumace	<i>Rumex acetosella</i> L.
Cramon	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq. var. <i>monogyna</i>	Rumbuc	<i>Rumex bucephalophorus</i> L.
Cresmy	<i>Crepis smyrnaea</i> DC. Ex Froehlich	Rumtub	<i>Rumex tuberosus</i> L. subsp. <i>tuberosus</i>
Cupsem	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	Satcun	<i>Satureja cuneifolia</i> Ten.
Cynech	<i>Cynosurus echinatus</i> L.	Scacos	<i>Scabiosa cosmoides</i> Boiss.
Digfer	<i>Digitalis ferruginea</i> L. subsp. <i>ferruginea</i>	Scamac	<i>Scandix macrorrhyncha</i> C.A.Mey.
Dorori	<i>Doronicum orientale</i> Hoffm.	Scavim	<i>Scariola viminea</i> (L.) F.W.Schmidt.
Dramur	<i>Draba muralis</i> L.	Scosub	<i>Scorzonera sublanata</i> Lipsch.
Dravul	<i>Dracunculus vulgaris</i> Schott.	Sedamp	<i>Sedum amplexicaule</i> DC.
Elaasc	<i>Elaeostelinum asclepium</i> (L.) Bertol.	Sidlan	<i>Sideritis lanata</i> L.
Eriarb	<i>Erica arborea</i> L.	Silcon	<i>Silene conica</i> L.
Erohoe	<i>Erodium hoefftianum</i> C.A.Mey.	Sonole	<i>Sonchus oleraceus</i> L.
Erover	<i>Erophila verna</i> (L.) DC.	Stabyz	<i>Stachys byzantina</i> C. Koch
Eupana	<i>Euphorbia anacamperos</i> Boiss. var. <i>tmolea</i> M.L.S. Khan	Stawor	<i>Stachys woronowii</i> (Schischk. ex Grossh.) R.R.Mill
Euprig	<i>Euphorbia rigida</i> M.Bieb.	Stempa	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. subsp. <i>pallida</i> (Dumort.) Asch. & Graebn.
Fessp.	<i>Festuca</i> sp.	Stempo	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill. subsp. <i>postii</i> Holmboe
Galapa	<i>Galium aparine</i> L.	Tansp.	<i>Tanacetum</i> sp.
Gallov	<i>Galium lovcense</i> Urum.	Tarbut	<i>Taraxacum butleri</i> van. Soest
Genaca	<i>Genista acanthoclada</i> DC.	Thylon	<i>Thymus longicaulis</i> C. Presl subsp. <i>chaubardii</i> (Rchb.f.) Jalas var. <i>chaubardii</i>
Gerasp	<i>Geranium asphodeloides</i> Burm. subsp. <i>asphodeloides</i>	Torlep	<i>Torilis leptophylla</i> (L.) Rchb.f.
Germol	<i>Geranium molle</i> L.	Torucr	<i>Torilis ucranica</i> Spreng.
Gerpur	<i>Geranium purpureum</i> Vill.	Triarv	<i>Trifolium arvense</i> L. var. <i>arvense</i>
Gerrot	<i>Geranium rotundifolium</i> L.	Tricam	<i>Trifolium campestre</i> Schreb.
Gertub	<i>Geranium tuberosum</i> L.	Triste	<i>Trifolium stellatum</i> L. var. <i>stellatum</i>
Holumb	<i>Holosteum umbellatum</i> var. <i>tenerimum</i>	Verpar	<i>Verbascum parviflorum</i> Lam.

Huecyn	<i>Huetia cynapioides</i> (Guss.) P. W. Ball in Feddes Rep. subsp. <i>macrocarpa</i> (Boiss. & Spruner) P. W. Ball op.	Vicart	<i>Vicia articulata</i> Hornem.
Hymcir	<i>Hymenocarpus circinnatus</i> (L.) Savi	Vicvid	<i>Vicia villosa</i> Roth. subsp. <i>dasycarpa</i> (Ten.) Cav.
Hypade	<i>Hypericum adenotrichum</i> Spach	Vintmo	<i>Vincetoxicum troleum</i> Boiss.
Hypfol	<i>Hypericum perforatum</i> L.	Viokit	<i>Viola kitaibeliana</i> Roem. & Schult.
Hypgla	<i>Hypochaeris glabra</i> L.	Zizten	<i>Ziziphora tenuior</i> L.
Hypsp1	<i>Hypericum</i> sp.1		

Ek Tablo 2. Niteliklerarası İlişki Analizine göre *Pinus brutia* hedef türü için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.**Supplementary Table 2.** Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus brutia*, based on Interattribute Relationship Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	Khi Kare	C3	p değeri	Gösterge Yönü
Pinbru	Aspacu	10,3840	0,3482	0,0013	+
	Ciscrc	31,6528	0,7276	0,0000	+
	Cissal	9,3343	0,2083	0,0022	+
	Colmel	6,6830	0,1283	0,0097	+
	Cupsem	6,6830	0,1283	0,0097	+
	Gerpur	8,7641	0,2849	0,0031	+
	Onocri	16,7499	0,2971	0,0000	+
	Philat	14,8698	0,4035	0,0001	+
	Quecoc	28,1378	0,6459	0,0000	+
	Ranpal	7,6212	0,2199	0,0058	+
	Carnut	8,2173	-0,2397	0,0041	-
	Cynech	6,9182	-0,2336	0,0085	-
	Eupana	13,6147	-0,3266	0,0002	-
	Holumb	7,3253	-0,1843	0,0068	-
	Minjur	10,8506	-0,2662	0,0010	-
	Pinnig	33,3008	-0,6731	0,0000	-
	Pteaqu	8,2970	-0,3435	0,0040	-
	Roscan	16,6119	-0,4183	0,0000	-
	Thylon	9,9858	-0,2803	0,0016	-
	Triarv	8,2036	-0,3023	0,0042	-
	Tricam	7,5430	-0,3582	0,0060	-

Ek Tablo 3. Niteliklerarası İlişki Analizine göre *Pinus nigra* hedef türü için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.**Supplementary Table 3.** Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus nigra*, based on Interattribute Relationship Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	khi	C3	p değeri	Gösterge Yönü
Pinnig	Antacd	7,0301	0,0549	0,0080	+
	Armcar	7,0368	0,0939	0,0080	+
	Belper	14,4755	0,2168	0,0001	+
	Carnut	6,7188	0,1395	0,0095	+
	Chapgy	17,1950	0,1897	0,0000	+
	Cislau	12,7868	0,2111	0,0003	+
	Dorori	11,1288	0,2192	0,0008	+
	Erohoe	10,6083	0,0814	0,0011	+
	Eupana	7,7783	0,1594	0,0053	+
	Holumb	10,7518	0,1394	0,0010	+
	Huecyn	14,2295	0,1075	0,0002	+
	Junexc	7,0301	0,0549	0,0080	+
	Plachl	10,6083	0,0814	0,0011	+
	Roscan	9,9441	0,2133	0,0016	+
	Silcon	13,3253	0,1266	0,0003	+
	Tansp.	13,8977	0,1649	0,0002	+
	Aspacu	7,5925	-0,2557	0,0059	-
	Ciscrc	6,7407	-0,3143	0,0094	-
	Gerpur	7,2748	-0,2130	0,0070	-
	Philat	10,0655	-0,2920	0,0015	-
	Pinbru	33,3008	-0,6731	0,0000	-
Pinnig	Pister	6,8975	-0,2020	0,0086	-
	Quecoc	14,4297	-0,4574	0,0001	-
	Rumtub	8,0448	-0,2352	0,0046	-

Ek Tablo 4. Spearman Sıralama Korelasyon Katsayısı Analizine göre *Pinus brutia* ve *Pinus nigra* hedef türleri için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.**Supplementary Table 4.** Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus brutia* and *Pinus nigra*, based on Spearman's Rank Correlation Coefficient Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	Spearman sıralama korelasyon katsayısı	p değeri	Gösterge Yönü	Hedef Tür	Gösterge Türler	Spearman sıralama korelasyon katsayısı	p değeri	Gösterge Yönü
Pinbru	Aspacu	0,2472	0,0012	+	Pinnig	Antacd	0,2034	0,0078	+
	Aspaes	0,1971	0,0010	+		Armcar	0,2035	0,0078	+
	Ciscrc	0,4315	0,0000	+		Belper	0,2918	0,0001	+
	Cissal	0,2343	0,0021	+		Carnut	0,1988	0,0094	+
	Colmel	0,1983	0,0095	+		Chapgy	0,3180	0,0000	+
	Cupsem	0,1983	0,0095	+		Cislau	0,2743	0,0003	+
	Gerpur	0,2271	0,0029	+		Dorori	0,2559	0,0008	+
	Onocri	0,3139	0,0000	+		Erohoe	0,2498	0,0010	+
	Philat	0,2958	0,0001	+		Eupana	0,2139	0,0051	+
	Quecoc	0,4068	0,0000	+		Holumb	0,2515	0,0009	+
	Ranpal	0,2117	0,0056	+		Huecyn	0,2893	0,0001	+
	Carnut	-0,2199	0,0040	-		Junexc	0,2034	0,0078	+
	Cynech	-0,2017	0,0083	-		Plachl	0,2498	0,0010	+
	Eupana	-0,2830	0,0002	-		Roscan	0,2419	0,0015	+
Pinbru	Holumb	-0,2076	0,0066	-		Silcon	0,2800	0,0002	+
	Minjur	-0,2526	0,0009	-		Tansp.	0,2859	0,0002	+

Pinnig	-0,4426	0,0000	-	Aspacu	-0,2113	0,0057	-
Pteaqu	-0,2209	0,0038	-	Ciscrc	-0,1991	0,0092	-
Roscan	-0,3126	0,0000	-	Gerpur	-0,2069	0,0068	-
Thylon	-0,2424	0,0015	-	Philat	-0,2433	0,0014	-
Triarv	-0,2197	0,0040	-	Pinbru	-0,4426	0,0000	-
Tricam	-0,2106	0,0058	-	Pister	-0,2014	0,0084	-
				Quecoc	-0,2913	0,0001	-
				Rumtub	-0,2175	0,0044	-

Ek Tablo 5. Kendall Tau Katsayısı Analizine göre *Pinus brutia* ve *Pinus nigra* hedef türleri için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.
Supplementary Table 5. Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus brutia* and *Pinus nigra*, based on Kendall's Tau Coefficient Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	Kendall Tau Katsayısı	p değeri	Gösterge Yönü	Hedef Tür	Gösterge Türler	Kendall Tau Katsayısı	p değeri	Gösterge Yönü
Pinbru	Antvul	0,1527	0,0031	+	Pinnig	Achgra	0,1434	0,0055	+
	Arband	0,1536	0,0030	+		Allpet	0,1434	0,0055	+
	Aspacu	0,2472	0,0000	+		Amygra	0,1434	0,0055	+
	Aspaes	0,1971	0,0001	+		Antacd	0,2034	0,0001	+
	Camlyr	0,1412	0,0063	+		Antwie	0,1682	0,0011	+
	Ciscrc	0,4315	0,0000	+		Aresp.	0,1434	0,0055	+
	Cissal	0,2343	0,0000	+		Armcar	0,2035	0,0001	+
	Colmel	0,1983	0,0001	+		Arudio	0,1434	0,0055	+
	Cresmy	0,1527	0,0031	+		Astang	0,1426	0,0058	+
	Cupsem	0,1983	0,0001	+		Astpti	0,1962	0,0001	+
	Elaasc	0,1768	0,0006	+		Astsp.	0,1434	0,0055	+
	Eriarb	0,1763	0,0006	+		Asttmo	0,1475	0,0043	+
	Gerpur	0,2271	0,0000	+		Asyvir	0,1434	0,0055	+
	Gerrot	0,1749	0,0007	+		Beltri	0,1434	0,0055	+
	Hymcir	0,1527	0,0031	+		Belper	0,2918	0,0000	+
	Hypfol	0,1536	0,0030	+		Bugarv	0,1434	0,0055	+
	Junoxy	0,1455	0,0048	+		Carnut	0,1988	0,0001	+
	Lavstc	0,1527	0,0031	+		Cardiv	0,1573	0,0023	+
	Leotub	0,1870	0,0003	+		Centri	0,1426	0,0058	+
	Onocap	0,1527	0,0031	+		Chapyg	0,3180	0,0000	+
	Onocri	0,3139	0,0000	+		Chiluc	0,1434	0,0055	+
	Onosp.	0,1527	0,0031	+		Cislau	0,2743	0,0000	+
	Orldau	0,1696	0,0010	+		Dorori	0,2559	0,0000	+
	Palisp	0,1411	0,0063	+		Dramur	0,1434	0,0055	+
	Paprho	0,1549	0,0027	+		Erohoe	0,2498	0,0000	+
	Philat	0,2958	0,0000	+		Erover	0,1434	0,0055	+
	Pilpil	0,1335	0,0098	+		Eupana	0,2139	0,0000	+
	Pister	0,1752	0,0007	+		Fessp.	0,1434	0,0055	+
	Plalog	0,1527	0,0031	+		Gerasp	0,1434	0,0055	+
	Pyramy	0,1383	0,0074	+		Gertub	0,1434	0,0055	+
	Quecoc	0,4068	0,0000	+		Holumb	0,2515	0,0000	+
	Ranpal	0,2117	0,0000	+		Huecyn	0,2893	0,0000	+
	Rumtub	0,1892	0,0002	+		Hypsp1	0,1434	0,0055	+
	Scosub	0,1527	0,0031	+		Junexc	0,2034	0,0001	+
	Stawor	0,1527	0,0031	+		Lapcop	0,1426	0,0058	+
	Triste	0,1455	0,0048	+		Lenerv	0,1434	0,0055	+
	Allsco	-0,1528	0,0031	-		Lonnum	0,1434	0,0055	+
	Alyfus	-0,1546	0,0028	-		Musarm	0,1808	0,0005	+
	Antcre	-0,1528	0,0031	-		Plasp.	0,1434	0,0055	+
	Armcar	-0,1679	0,0012	-		Plachl	0,2498	0,0000	+
	Astfla	-0,1679	0,0012	-		Poapra	0,1434	0,0055	+
	Astpti	-0,1363	0,0083	-		Pteaqu	0,1651	0,0014	+
	Avebar	-0,1679	0,0012	-		Ranspr	0,1434	0,0055	+
	Brohor	-0,1679	0,0012	-		Romtem	0,1434	0,0055	+
	Carnut	-0,2199	0,0000	-		Roscan	0,2419	0,0000	+
	Chapyg	-0,1827	0,0004	-		Rubcae	0,1426	0,0058	+
	Ciraca	-0,1416	0,0061	-		Satcun	0,1659	0,0013	+
	Cramon	-0,1920	0,0002	-		Scavim	0,1434	0,0055	+
	Cynech	-0,2017	0,0001	-		Sedamp	0,1656	0,0014	+
	Digfer	-0,1363	0,0083	-		Silcon	0,2800	0,0000	+
	Eupana	-0,2830	0,0000	-		Sonole	0,1434	0,0055	+
	Galapa	-0,1608	0,0019	-		Stempa	0,1962	0,0001	+
	Gallo	-0,1363	0,0083	-		Stempo	0,1434	0,0055	+
	Genaca	-0,1951	0,0002	-		Tansp.	0,2859	0,0000	+
	Germol	-0,1345	0,0092	-		Tarbut	0,1717	0,0009	+
	Holumb	-0,2076	0,0001	-		Vicart	0,1731	0,0008	+
	Hypade	-0,1528	0,0031	-		Viokit	0,1434	0,0055	+
	Hypgla	-0,1528	0,0031	-		Alktin	-0,1411	0,0063	-
	Legfal	-0,1391	0,0071	-		Araver	-0,1479	0,0042	-
	Legspe	-0,1739	0,0008	-		Aspacu	-0,2113	0,0000	-
	Marrot	-0,1546	0,0028	-		Camlyr	-0,1417	0,0061	-
	Minjur	-0,2526	0,0000	-		Cencya	-0,1710	0,0009	-
	Nepvis	-0,1951	0,0002	-		Ciscrc	-0,1991	0,0001	-
	Omarm	-0,1895	0,0002	-		Cissal	-0,1341	0,0094	-
	Phlexa	-0,1528	0,0031	-		Dravul	-0,1341	0,0094	-
	Pinnig	-0,4426	0,0000	-		Euprig	-0,1544	0,0028	-
	Pteaqu	-0,2209	0,0000	-		Gerpur	-0,2069	0,0000	-
	Quecer	-0,1599	0,0020	-		Gerrot	-0,1479	0,0042	-
	Roscan	-0,3126	0,0000	-		Onocri	-0,1479	0,0042	-
	Rumace	-0,1819	0,0004	-		Orldau	-0,1683	0,0011	-
	Scacos	-0,1363	0,0083	-		Paprho	-0,1411	0,0063	-
	Scamac	-0,1363	0,0083	-		Philat	-0,2433	0,0000	-
	Sidlan	-0,1493	0,0038	-		Pinbru	-0,4426	0,0000	-

Silcon	-0,1679	0,0012	-	Pister	-0,2014	0,0001	-
Stabyz	-0,1340	0,0095	-	Quecoc	-0,2913	0,0000	-
Tansp.	-0,1691	0,0011	-	Ranpal	-0,1607	0,0019	-
Thylon	-0,2424	0,0000	-	Rumbuc	-0,1411	0,0063	-
Torlep	-0,1493	0,0038	-	Rumtub	-0,2175	0,0000	-
Torucr	-0,1528	0,0031	-	Vicvid	-0,1455	0,0049	-
Triarv	-0,2197	0,0000	-				
Tricam	-0,2106	0,0000	-				
Verpar	-0,1679	0,0012	-				
Vintmo	-0,1951	0,0002	-				
Zizten	-0,1819	0,0004	-				

Ek Tablo 6. İndikatör Tür Analizine göre *Pinus brutia* hedef türü için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.

Supplementary Table 6. Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus brutia*, based on Indicator Species Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	Gösterge Grubu	Gözlemlenen İndikatör Değeri (IV)	Ortalama	Standart Sapma	p değeri	Gösterge Yönü
Pinbru	Aspacu	1	21,3	11,4	2,13	0,0022	+
	Ciscrc	1	54,7	30,9	2,53	0,0002	+
	Cissal	1	11,2	4,7	1,48	0,0042	+
	Gerpur	1	16,8	8,8	1,89	0,0024	+
	Onocri	1	16,2	5,4	1,56	0,0002	+
	Philat	1	23,9	11,1	2,10	0,0002	+
	Quecoc	1	42,6	19,9	2,54	0,0002	+
	Ranpal	1	12,3	6,1	1,64	0,0074	+
	Carnut	0	12,3	6,1	1,71	0,0050	-
	Eupana	0	16,7	6,7	1,77	0,0004	-
	Minjur	0	13,5	5,8	1,51	0,0002	-
	Pinnig	0	37,2	14,0	2,29	0,0002	-
	Pteaqu	0	20,1	12,4	2,16	0,0052	-
	Roscan	0	21,6	9,2	2,05	0,0004	-
	Thylon	0	14,4	6,7	1,76	0,0032	-
	Triarv	0	16,5	9,4	1,90	0,0054	-

Ek Tablo 7. İndikatör Tür Analizine göre *Pinus nigra* hedef türü için pozitif ve negatif gösterge bitki türleri ve önem seviyeleri.

Supplementary Table 7. Positive and negative indicator plant species and their significance levels for the target species *Pinus nigra*, based on Indicator Species Analysis.

Hedef Tür	Gösterge Türler	Gösterge Grubu	Gözlemlenen İndikatör Değeri (IV)	Ortalama	Standart Sapma	p değeri	Gösterge Yönü
Pinnig	Belper	1	21,9	7,6	2,35	0,0008	+
	Chapyp	1	19,0	5,5	1,98	0,0004	+
	Cislau	1	21,4	8,0	2,47	0,0012	+
	Dorori	1	22,5	9,3	2,58	0,0024	+
	Erohoe	1	7,9	2,4	1,04	0,0096	+
	Holomb	1	13,8	4,6	1,93	0,0032	+
	Huecyn	1	10,5	2,7	1,37	0,0024	+
	Roscan	1	22,0	9,7	2,65	0,0038	+
	Silcon	1	12,4	3,6	1,54	0,0032	+
	Tansp.	1	16,4	5,1	1,94	0,0020	+
	Pinbru	0	52,8	25,7	3,40	0,0002	-
	Quecoc	0	34,3	20,6	3,24	0,0048	-



Comparative Assessment of Fecal Microbiota in Healthy and Epileptic Dogs

Nilgün AKSOY¹

Şeyda YAMAN^{1,2}

Alper ÇİFTÇİ^{1*}

¹Department of Microbiology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Ondokuz Mayıs, Samsun, Türkiye

²YÖK 100/2000 PhD Scholarship

Received: 09.12.2024

Accepted: 25.01.2025

Published: 31.01.2025

How to cite: Aksoy, N., Yaman, Ş. & Çiftçi, A. (2025). Comparative Assessment of Fecal Microbiota in Healthy and Epileptic Dogs. *J. Anatol. Environ. Anim. Sci.*, 10(1), 79-86. <https://doi.org/10.35229/jaes.1598473>

Atf yapmak için: Aksoy, N., Yaman, Ş. & Çiftçi, A. (2025). Sağlıklı ve Epileptik Köpeklerde Fekal Mikrobiyotanın Karşılaştırmalı Değerlendirmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(1), 79-86. <https://doi.org/10.35229/jaes.1598473>

: <https://orcid.org/0009-0008-0988-1867>
 : <https://orcid.org/0000-0003-2175-6109>
 : <https://orcid.org/0000-0001-8370-8677>

***Corresponding author's:**

Alper ÇİFTÇİ
University of Ondokuz Mayıs, Faculty of
Veterinary Medicine, Department of
Microbiology, 55220 Atakum, Samsun,
Türkiye.
✉: aciftci@omu.edu.tr

Abstract: Idiopathic epilepsy is a neurological condition affecting dogs and cats characterized by repeated seizures for which no cause other than a hypothesized genetic predisposition can be identified. The aim of this study was to comparatively evaluate the content of mesophilic aerobic bacteria, coliform bacteria, *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., *Staphylococcus aureus* and *Lactobacillus* spp. in the fecal flora of healthy dogs and dogs diagnosed with epilepsy. Feces of 10 healthy dogs and 10 dogs diagnosed with epilepsy were used as study material. Selective isolation and counts were performed with inoculating the fecal samples were on Tryptic Soy Agar for mesophilic aerobic bacteria, MacConkey Agar for coliform bacteria, Eosin Methylene Blue Agar for *E. coli*, Bile Esculin Agar for *Enterococcus* spp., Mannitol Salt Agar for *S. aureus* and De Man, Rogosa and Sharpe Agar for *Lactobacillus* spp. The numbers of mesophilic aerobic bacteria, coliform bacteria, *E. coli*, *Enterococcus* spp., *S. aureus* and *Lactobacillus* spp. were 6.6×10^6 , 2.6×10^5 , 1.4×10^5 , 1.6×10^5 , 3.2×10^4 and 4.1×10^4 cfu/mg in the fecal flora of healthy dogs; and 9.0×10^6 , 5.0×10^5 , 2.8×10^5 , 6.4×10^5 , 6.3×10^4 , and 1.2×10^4 cfu/mg in dogs diagnosed with epilepsy, respectively. As a result of the study, there was a decrease in the number of *Lactobacillus* spp. in the fecal flora of dogs with epilepsy compared to healthy dogs, while the number of other bacteria increased. It was concluded that adding probiotic bacteria to the diet of epileptic dogs could help regulate the gut microbiota and reduce the severity and frequency of seizures.

Keywords: Dog, fecal flora, idiopathic epilepsy.

Sağlıklı ve Epileptik Köpeklerde Fekal Mikrobiyotanın Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Öz: İdiyopatik epilepsi, hipotez edilen genetik yatkınlıktan başka bir nedenin tanımlanamadığı, tekrarlayan nöbetlerle karakterize, köpekleri ve kedileri etkileyen nörolojik bir durumdur. Bu çalışma sağlıklı köpeklerin ve epilepsi tanısı almış köpeklerin fekal florasındaki mezofilik aerobik bakteri, koliform bakteri, *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., *Staphylococcus aureus* ve *Lactobacillus* spp. içeriğini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla gerçekleştirildi. Çalışma materyali olarak 10 sağlıklı ve 10 epilepsi tanısı almış köpeğin dışkıları kullanıldı. Seçici izolasyon ve sayımlar, dışkı örneklerinin mezofilik aerobik bakteriler için Tryptic Soy Agar, koliform bakteriler için MacConkey Agar, *E. coli* için Eosin Metilen Mavisli Agar, *Enterococcus* spp. için Bile Eskülin Agar, *S. aureus* için Mannitol Salt Agar ve *Lactobacillus* spp. için De Man, Rogosa ve Sharpe Agar'a ekilmesiyle gerçekleştirildi. Sağlıklı köpeklerin dışkı florasında mezofilik aerobik bakteri, koliform bakteri, *E. coli*, *Enterococcus* spp., *S. aureus* ve *Lactobacillus* spp. sayıları sırasıyla $6,6 \times 10^6$, $2,6 \times 10^5$, $1,4 \times 10^5$, $1,6 \times 10^5$, $3,2 \times 10^4$ ve $4,1 \times 10^4$ kob/mg ve epilepsi tanısı konulan köpeklerde sırasıyla $9,0 \times 10^6$, $5,0 \times 10^5$, $2,8 \times 10^5$, $6,4 \times 10^5$, $6,3 \times 10^4$ ve $1,2 \times 10^4$ kob/mg olarak bulundu. Sonuç olarak, epilepsili köpeklerin dışkı florasında *Lactobacillus* spp. sayısında sağlıklı köpeklere kıyasla bir azalma görülürken, diğer bakterilerin sayısında artış görüldü. Epileptik köpeklerin diyetine probiyotik bakteri eklenmesinin bağırsak mikrobiyotasını düzenlemeye ve nöbetlerin şiddetini ve sıklığını azaltmaya yardımcı olabileceği kanısına varıldı.

Anahtar kelimeler: Dışkı florası, idiyopatik epilepsi, köpek.

***Sorumlu yazar:**

Alper ÇİFTÇİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Veteriner
Fakültesi, Mikrobiyoloji Anabilim Dalı,
55220 Atakum, Samsun, Türkiye.
✉: aciftci@omu.edu.tr

INTRODUCTION

Epilepsy was defined as a chronic neurological system disorder that impairs the quality of life of both the sufferer and their family members, can last a lifetime, and is most frequent in dogs (Wessmann et al., 2016). Epilepsy results from congenital or acquired disorders and is characterized by a permanent tendency to recurrent epileptic seizures. Epilepsy appears quickly as a result of aberrant activity in neurons, and presents with motor, autonomic, and behavioral symptoms. Epileptic seizures occur in episodes and are short-lived (usually less than 2-3 minutes). Epilepsy can develop for many reasons. Some cases are genetic and develop a progressive picture produced by genetic and epigenetic factors, while in some cases, inflammatory causes (inflammatory, infectious, trauma, vascular, neoplastic) play a role in the disease development. The cause of most cases of epilepsy is unknown (Hülsmeier et al., 2015). The true prevalence of epilepsy in dogs is not known exactly, and is estimated to be 0.6-0.75% (Kearsley-Fleet et al., 2013). It has been noted that this rate is comparable to the prevalence of human epilepsy (Löscher, 2022). As a result of epidemiological studies conducted in specific breeds with idiopathic epilepsy, there is evidence for the presence of hereditary epilepsy 3.1% in Labrador retriever, 9.4% in Belgian shepherd, 8.9% in Basset Griffon vendeen and other breeds (Hülsmeier et al., 2015, Ekenstedt and Oberbauer, 2013).

The microbiota of intestine composed of approximately 1000 species and 10^8 - 10^{11} cells that provide immunological, metabolic, and protective functions through cytokines, neurotransmitters, and short-chain fatty acids. The gut microbiome of dog is composed of bacteria, archaea, fungi, protozoa, yeasts, viruses, and parasites, though its exact makeup is unknown. Although it is consistent throughout different dog groups, it also has its own distinct characteristics. The most frequent bacteria in dogs are *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, and *Proteobacteria*, which are rather stable in a healthy intestine. The relative number and composition of gut microbiota are critical for its effective defense against infections and numerous metabolic processes (Tuniyazi et al., 2022). The gut microbiota evolves dynamically in response to both internal (genetic) and external (diet, environment, illnesses, etc.) variables (Wang et al., 2023). Studies have discovered that the intestinal flora and the brain interact. The term Gut-Microbiota-Brain Axis (GMB) describes to the simultaneous communication between the enteric nervous and central systems, as well as the significance of the intestinal microbiota. It is now thought that symbiotic microbiota, in addition to influencing digestive system

function, may also have a bidirectional and reversible impact on extraintestinal pathogenic systems such as the neurological system and behavior (Wang and Wang, 2016). Understanding the intestinal microbiota may help us understand the progression and severity of epilepsy, and so predict its prognosis (García-Belenguer et al., 2021).

It was aimed to comparatively evaluate the contents of mesophilic aerobic bacteria (MAB), coliform bacteria (CB), *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp., *Staphylococcus aureus* and *Lactobacillus* spp. in the fecal flora of healthy and epileptic dogs in the study.

MATERIAL AND METHOD

Animal Material: The animal material of the study consisted of a total of 20 dogs of various breeds and ages, 10 healthy and 10 epileptics, brought to the Animal Hospital of Ondokuz Mayıs University for medical examination between January and July 2023. Breed, age and gender information's of the animals included in the study were presented in Table 1.

Table 1. Informations of dogs constituting the animal material of the study.

No.	State of health	Race	Gender	Age
1	Healthy	German Shepherd	female	9 months
2	Healthy	Crossbreed	male	2 years
3	Healthy	Crossbreed	female	4 months
4	Healthy	Crossbreed	female	5 months
5	Healthy	Crossbreed	male	3 years
6	Healthy	Crossbreed	male	3 years
7	Healthy	Crossbreed	female	6 months
8	Healthy	Crossbreed	male	3 years
9	Healthy	Crossbreed	male	5 years
10	Healthy	Coil	female	6 months
11	Idiopathic epilepsy	Golden Retriever	female	14 years
12	Idiopathic epilepsy	Border Collie	female	3.5 years
13	Idiopathic epilepsy	Terrier	male	2 years
14	Idiopathic epilepsy	Golden Retriever	female	11 years
15	Idiopathic epilepsy	Cocker Spaniel	male	3 years
16	Idiopathic epilepsy	Crossbreed	male	9 years
17	Idiopathic epilepsy	Golden	female	6 years
18	Idiopathic epilepsy	French Bulldog	female	2.5 years
19	Idiopathic epilepsy	Ibiza Podenco	female	4.5 years
20	Idiopathic epilepsy	Crossbreed	male	7.5 years

The Level I confidence level guideline for the diagnosis of idiopathic epilepsy determined by the International Veterinary Epilepsy Task Force was used as the criteria for the inclusion of epileptic animals in the study group (De Risio et al., 2015). According to this guideline, the presence of two or more unprovoked epileptic seizures in the last 24 h, no significant findings in the physical and neurological examination during the interictal period, and the absence of any abnormalities in complete blood count, urine analysis, serum biochemistry tests, cardiac and abdominal ultrasonography findings, and electrocardiography were used for the diagnosis of idiopathic epilepsy.

The inclusion criteria for the healthy dogs constituting the control group were determined as not having a primary disease, not having a neurological disease

diagnosed during physical examination, and not having received any antiepileptic treatment before. None of the animals had any probiotic use in their diet.

For the study, fecal samples were collected directly from the rectum of the animal and placed in sterile fecal containers as at least 10 g. After the fecal samples were collected, they were brought to the Microbiology Laboratory for bacteriological examinations.

Bacteriological Isolation: Stool samples were weighed as 10 mg with a precision scale. They were homogenized with sterile physiological saline (SPS) at a ratio of 1/10 (w/v). Dilutions were prepared with sterile SPS up to 10^{-8} . The prepared dilutions were used for the selective isolation and count of MAB, CB, *E. coli*, *S. aureus*, *Lactobacillus* spp. and *Enterococcus* spp (Sarica et al., 2005).

For the isolation and enumeration of MAB, CB, and *Enterococcus* spp., 0.1 ml of 10^{-2} , 10^{-3} and 10^{-4} dilutions were taken and spread to the three Tryptic Soy Agar (TSA), MacConkey agar (MAC), and Bile Esculin Agar (BEA), respectively. The cultured media were incubated at 37°C for 24 h under aerobic conditions. At the end of the incubation period, media containing 1-20 bacterial colonies were evaluated (all colonies for MAB, pink bacterial colonies for CB and black-esculin-positive bacterial colonies for *Enterococcus* spp.) and the bacterial colonies were counted for calculating the number of these bacteria (Sarica et al., 2005; Gülhan et al., 2015; Özşavlı et al., 2018; Stropfová et al., 2004).

For the isolation and enumeration of *Lactobacillus* spp., 0.1 ml of 10^{-2} , 10^{-3} and 10^{-4} dilutions were taken and spread to the three De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) agars. They were incubated in anaerobic conditions at 37°C for 48 h in a jar with an anaerobic gas pack (Turhan et al., 2016). At the end of the incubation period, the media containing bacterial colonies were counted. After the counting, the number of *Lactobacillus* spp. in the fecal content was calculated.

For the isolation and enumeration of *S. aureus* and *E. coli*, 0.1 ml of 10^{-3} , 10^{-4} and 10^{-5} dilutions were taken and spread onto the three Mannitol Salt Agar (MSA) and Eosin Methylene Blue agar (EMB), respectively. The inoculated media were incubated at 37°C for 24 h under aerobic conditions (Nsofor and Christian, 2012; Patır and Güran, 2018). At the end of the incubation period, colonies that were mannitol positive and formed yellow bright zones were evaluated as *S. aureus*; and metallic highlights for *E. coli*. After the counting of these colonies, the number of *S. aureus* and *E. coli* in the fecal content was calculated.

Statistical Analysis: Statistical evaluation of the obtained data was carried out using descriptive analysis, Pearson correlation analysis and independent samples t test using the SPSS software.

RESULTS

Isolation and Enumeration of MAB: The number of MAB in the fecal flora was determined as in average of 6.6×10^6 cfu/mg in healthy dogs and 9.0×10^6 cfu/mg in dogs diagnosed with epilepsy (Table 2). When evaluated according to gender, the number of MAB in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was calculated as 6.6×10^6 cfu/mg and in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6) was 8.3×10^6 cfu/mg. The number of MAB in the fecal flora of healthy male dogs (n=5) was determined as 6.5×10^6 cfu/mg and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) was 1.0×10^7 cfu/mg (Table 3).

Table 2. Total number of bacteria determined in fecal flora and statistical significance.

	n	Epilepsy	Healthy	P
MAB	10	$9.0 \times 10^6 \pm 5.1 \times 10^5$	$6.6 \times 10^6 \pm 6.4 \times 10^5$	0.001
<i>E. coli</i>	10	$2.8 \times 10^5 \pm 2.6 \times 10^4$	$1.4 \times 10^5 \pm 1.5 \times 10^4$	0.524
Coliform bacteria	10	$5.0 \times 10^5 \pm 6.4 \times 10^4$	$2.6 \times 10^5 \pm 7.1 \times 10^3$	0.00
<i>Enterococcus</i> spp.	10	$6.4 \times 10^5 \pm 7.0 \times 10^4$	$1.6 \times 10^5 \pm 8.0 \times 10^3$	0.00
<i>S. aureus</i>	10	$6.3 \times 10^5 \pm 4.3 \times 10^3$	$3.2 \times 10^4 \pm 2.9 \times 10^3$	0.00
<i>Lactobacillus</i> spp.	10	$1.2 \times 10^4 \pm 5.82 \times 10^5$	$4.1 \times 10^4 \pm 3.3 \times 10^3$	0.00

Table 3. Number of bacteria determined in fecal flora and statistical significance according to the gender.

		Epilepsy	Healthy	P
MAB	Female	$8.3 \times 10^6 \pm 9.2 \times 10^5$	$6.6 \times 10^6 \pm 1 \times 10^6$	0.035
	Male	$1.0 \times 10^7 \pm 5.0 \times 10^5$	$6.5 \times 10^6 \pm 4.9 \times 10^5$	0.015
CB	Female	$4.3 \times 10^5 \pm 8.3 \times 10^4$	$2.6 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^4$	0.035
	Male	$4.8 \times 10^5 \pm 8.3 \times 10^4$	$2.5 \times 10^5 \pm 6.2 \times 10^3$	0.022
<i>E. coli</i>	Female	$2.7 \times 10^5 \pm 2.3 \times 10^4$	$1.6 \times 10^5 \pm 2.2 \times 10^4$	0.471
	Male	$2.9 \times 10^5 \pm 4.4 \times 10^4$	$1.3 \times 10^5 \pm 2.1 \times 10^4$	0.237
ENT	Female	$7.0 \times 10^5 \pm 1.2 \times 10^5$	$1.6 \times 10^5 \pm 1.1 \times 10^4$	0.022
	Male	$5.5 \times 10^5 \pm 8 \times 10^4$	$1.5 \times 10^5 \pm 1.4 \times 10^4$	0.002
LB	Female	$1.0 \times 10^4 \pm 8.1 \times 10^2$	$4.7 \times 10^4 \pm 4.9 \times 10^3$	0.0
	Male	$1.3 \times 10^4 \pm 6 \times 10^2$	$3.4 \times 10^4 \pm 4.8 \times 10^3$	0.009
SA	Female	$6.4 \times 10^4 \pm 5 \times 10^3$	$3.3 \times 10^4 \pm 3.4 \times 10^3$	0.003
	Male	$6.4 \times 10^4 \pm 7.3 \times 10^3$	$3.1 \times 10^4 \pm 4.7 \times 10^3$	0.004

MAB: Mesophilic aerobic bacteria; CB: Coliform bacteria, ENT: *Enterococcus* spp.; SA: *S. aureus*; LB: *Lactobacillus* spp.

Coliform Bacteria Isolation and Enumeration:

The number of CB in the fecal flora of healthy dogs was determined as in average of 2.6×10^5 cfu/mg and in dogs diagnosed with epilepsy as 5.0×10^5 cfu/mg (Table 2). When evaluated according to gender, the number of CB in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was calculated as 2.6×10^5 cfu/mg and 4.3×10^5 cfu/mg in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6). The number of CB in the fecal flora of healthy male dogs (n=5) was determined as 2.5×10^5 cfu/mg and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) as 4.8×10^5 cfu/mg (Table 3).

***E. coli* Isolation and Enumeration:** The number of *E. coli* in the fecal flora of healthy dogs and in dogs diagnosed with epilepsy was in average of 1.4×10^5 cfu/mg and 2.8×10^5 cfu/mg, respectively (Table 2). *E. coli* in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was calculated as 1.6×10^5 cfu/mg and in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6) as 2.7×10^5 cfu/mg. The number of *E. coli* in the fecal flora of healthy male dogs (n=5) was calculated as 1.3×10^5 cfu/mg and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) as 2.9×10^5 cfu/mg (Table 3).

Isolation and Enumeration of *Enterococcus* spp.: *Enterococcus* spp. of the fecal content was calculated

as in average of 1.6×10^5 cfu/mg in the fecal flora of healthy dogs and 6.4×10^5 cfu/mg in dogs diagnosed with epilepsy (Table 2). When evaluated according to gender, the number of *Enterococcus* spp. in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was determined as 1.6×10^5 cfu/mg and in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6) was 7.0×10^5 cfu/mg. In the fecal flora of healthy male dogs (n=5) and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) 1.5×10^5 cfu/mg and 5.5×10^5 cfu/mg of *Enterococcus* spp. determined, respectively (Table 3).

Isolation and Enumeration of *Lactobacillus* spp.: After inoculation on MRS agar for selective isolation of *Lactobacillus* spp., the bacterial colonies evaluated were counted as in average of 4.1×10^4 cfu/mg and in the fecal flora of healthy dogs and 1.2×10^4 cfu/mg in dogs diagnosed with epilepsy (Table 2). When evaluated according to gender, the number of *Lactobacillus* spp. in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was calculated as 4.7×10^4 cfu/mg and in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6) was 1.0×10^4 cfu/mg. The number of MAB in the fecal flora of healthy male dogs (n=5) was determined as 3.4×10^4 cfu/mg and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) was 1.3×10^4 cfu/mg (Table 3).

Isolation and Enumeration of *S. aureus*: *S. aureus* of the fecal content was calculated as in average of 3.2×10^4 cfu/mg in the fecal flora of healthy dogs and 6.3×10^4 cfu/mg in dogs diagnosed with epilepsy (Table 2). When evaluated according to gender, the number of *Enterococcus* spp. in the fecal flora of healthy female dogs (n=5) was determined as 3.3×10^4 cfu/mg and in female dogs diagnosed with epilepsy (n=6) was 6.4×10^4 cfu/mg. In the fecal flora of healthy male dogs (n=5) and in male dogs diagnosed with epilepsy (n=4) 3.1×10^4 cfu/mg and 6.4×10^4 cfu/mg of *Enterococcus* spp. determined, respectively (Table 3).

Statistical Evaluation of Fecal Flora: The numbers and statistical significance of changes of MAB, CB, *E. coli*, *S. aureus*, *Lactobacillus* spp. and *Enterococcus* spp. in fecal samples were evaluated within the scope of the study and shown in Tables 2 and 3.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The phrase intestinal microbiota is defined as to the population of fungi, bacteria, protozoa, and viruses found in GIT (Wang et al., 2023). Bacterial abundance and richness have been found to increase along the tract. Healthy dogs' small intestines have lower bacterial burdens than their colons with a range from 10^2 to 10^{11} cfu/g of luminal material throughout the GIT (Pilla and Suchodolski, 2020).

Recent research has revealed the intricate relationship between the gut bacteria and the brain. Symbiotic bacteria are hypothesized to alter gastrointestinal function as well as many extra intestinal pathogenic systems such as the nervous system and behavior in a bidirectional and reversible manner. Although the exact mechanism of communication between the gut microbiota and the brain has yet to be fully understood, it appears that the gut microbiota influences the brain not only via neuroanatomical pathways (Wang and Wang, 2016). It has been noted that the diversity of the gut microbiota is required not only for intestinal health but also for the physiological function of other organs, particularly the brain. Epilepsy is more common in certain gastrointestinal conditions. Irritable bowel syndrome (IBS) was more common in epileptic patients than in healthy controls, but it was also related with a higher load of emotional symptoms and insomnia. Another clinical trial found that the prevalence of functional GI problems was substantially higher in epileptic patients than in healthy people. These findings indicate a bidirectional relationship between GI and epilepsy (Wang et al., 2023).

Researchers discovered that transferring microbiota from chronically stressed mice into young mice enhances the development of epilepsy (Medel-Matus et al., 2018). Another study suggested that transplanting microbiota from epileptic mice could cause epileptic seizures by boosting brain excitability in healthy mice. Mice given microbiota to epileptic animals were likely to promote epilepsy than controls, demonstrating that microbiome influences seizures (Mengoni et al., 2021). Citraro et al. (2021) found that FMT from non-transgenic rats reduced seizure frequency and duration in rats with hereditary absence epilepsy.

Studies have found that healthy dogs have varying levels of MAB. In a study of the bacterial ecology in dogs' gastrointestinal tracts, the total MAB count was 6.6×10^4 cfu/mg in the ileum and 6.0×10^7 cfu/mg in the colon (Davis et al., 1977). In a study on the fecal microbiota of Beagle dogs, total mesophilic aerobic bacteria ranged from 1.9 to 5.0×10^7 cfu/mg (Benno et al., 1992). In a study on the immunological state and fecal microbiota of dogs after oral arabinogalactan administration, the total MAB count in the control group was determined to be 3.4×10^4 cfu/mg (Grieshop et al., 2002). Fecal bacterial populations in dogs vary with age, with young dogs having 1.7×10^7 cfu/mg mesophilic aerobic bacteria and old dogs having 6.6×10^7 cfu/mg (Simpson et al., 2002). In a study examining the effect of probiotic supplementation on fecal flora in adult healthy dogs, the total mesophilic aerobic bacteria count in the control group was found to be 6.4×10^6 cfu/mg (González-Ortiz et al., 2013). The study found that healthy dogs had significantly lower levels of MAB in their feces

compared to epileptic dogs ($P < 0.05$). Healthy dogs, both male and female, had significantly lower MAB than epileptic dogs ($P < 0.05$).

Boothe and Debavalya (2011) showed that fecal coliform levels in healthy dogs ranged from 1.5×10^4 to 6.3×10^5 cfu/mg. When the small intestine and fecal microbiota of 22 healthy beagle dogs were compared, jejunal coliform content was 3.0×10^3 cfu/mg and fecal coliform content was 1.0×10^6 cfu/mg (Mentula et al., 2005). In a study looking into the impact of several prospective prebiotics and fiber-rich diets on the composition and activity of the canine intestinal microbiota, coliform bacterial levels in healthy dogs before supplementation were reported to be 1.9×10^2 cfu/mg (Biagi et al., 2010). In a study looking at the influence of dietary lactosucrose on the fecal flora of dogs, 5.0×10^3 cfu/mg coliform bacteria were found in the fecal flora of healthy dogs before the diet (Terada et al., 1992). In a study examining the effect of probiotic supplementation on the fecal flora of adult healthy dogs, the number of coliform bacteria before treatment was estimated to be 2.3×10^3 cfu/mg (González-Ortiz et al., 2013). Healthy dogs had significantly lower levels of coliform bacteria in their feces compared to epileptic dogs ($P < 0.05$). Healthy dogs, both male and female, have significantly lower CB levels in their flora compared to epileptic dogs ($P < 0.05$).

In a study of the bacterial flora of the gastrointestinal system in dogs, 4.0×10^3 cfu/mg *E. coli* was found in the colon (Davis et al., 1977). In a research on the effect of probiotic use on fecal microbiota, the average number of *E. coli* was 2.0×10^4 cfu/mg in the healthy dog group that did not take probiotics (Pascher et al., 2008). The microbiome of healthy dogs with gastrointestinal disorders was studied, and the average *E. coli* concentration was found to be 2.5×10^4 cfu/mg (Blake et al., 2019). In a study on the alterations in bacterial fecal ecology caused by antibiotic usage, the average *E. coli* count in dogs not receiving antibiotics was found to be 3.1×10^4 cfu/mg (Sørum and Sunde, 2001). Another similar study with the same goal revealed an *E. coli* concentration of 6.7×10^3 cfu/mg (Lawrence et al., 2013). The effects of dietary fructooligosaccharide on the *E. coli* population in dogs' feces were investigated, and the average fecal *E. coli* in dogs fed a standard diet was calculated to be 3.8×10^4 cfu/mg (Willard et al., 2000). González-Ortiz et al. (2013) found that the *E. coli* count was 1.4×10^3 cfu/mg in a study looking at the effects of probiotic supplementation on the fecal flora of adult healthy dogs. When the immunological state and fecal microbiota of dogs were studied after oral arabinogalactan administration, the average *E. coli* count in the control group was reported to be 9.1×10^4 cfu/mg (Grieshop et al., 2002). According to the study's findings, the number of *E. coli* in the feces of healthy dogs was lower

than that of epileptic dogs, although this difference was not statistically significant ($P > 0.05$). Fecal flora analysis revealed a statistically significant difference ($P < 0.05$) between male and female dogs with epilepsy in terms of *E. coli* presence.

Enterococcus spp. concentration was found to be 5.8×10^2 cfu/mg in the flora of healthy dogs (Blake et al., 2019). In a study examining the effects of antibiotic treatment on fecal flora in dogs, it was discovered that the fecal flora included 3.9×10^4 cfu/mg enterococci (Sørum and Sunde, 2001). Furthermore, 2.0×10^5 cfu/mg enterococci were found in the fecal microbiome of 22 healthy beagle dogs (Mentula et al., 2005). In a study looking at the impact of several possible prebiotics and fiber-rich meals on the composition and activity of the canine intestinal microbiota, the enterococci count was 1.3×10^3 cfu/mg in healthy dogs before supplementation (Biagi et al., 2010). The association between fecal enterococci population and age was discovered in dogs, with 9.3×10^3 cfu/mg enterococci in young dogs and 7.6×10^3 cfu/mg in elderly dogs (Simpson et al., 2002). In a study on the effect of probiotic supplementation on fecal flora in adult healthy dogs, it was discovered that the quantity of enterococci in the fecal flora of dogs who did not receive probiotics was 2.8×10^3 cfu/mg (González-Ortiz et al., 2013). Our investigation found that healthy dogs' feces contained an average of 1.6×10^5 cfu/mg enterococci. Healthy dogs had significantly lower levels of *Enterococcus* spp. compared to those with epilepsy ($P < 0.05$). Healthy dogs had significantly lower levels of *Enterococcus* spp. in their flora compared to epileptic dogs ($P < 0.05$).

In a study of the fecal microbiota composition in healthy dogs and dogs with gastrointestinal disorders, *Lactobacillus* spp. was shown to be present at an average of 1.9×10^3 cfu/mg (Blake et al., 2019). Sørum and Sunde (2001) found an average of 3.9×10^1 cfu/mg *Lactobacillus* spp. in the fecal flora of healthy dogs. Mentula et al. (2005) found that the jejunal *Lactobacillus* spp. content was 3.0×10^1 cfu/mg and the fecal content was 7.0×10^3 cfu/mg. In a study looking at the impact of several putative prebiotics and fiber-rich diets on the composition and activity of the canine intestinal microbiota, the *Lactobacillus* spp. count in healthy dogs before supplementation was found to be 1.2×10^3 cfu/mg (Biagi et al., 2010). *Lactobacillus* spp. were found in the fecal flora of healthy dogs fed a standard diet at 2.5×10^3 cfu/mg (Terada et al., 1992). The connection between fecal *Lactobacillus* spp. and age in dogs was found to be 2.1×10^3 cfu/mg in young dogs and 2.7×10^3 cfu/mg in old dogs. There were no significant differences between them (Simpson et al., 2002). Similarly, the number of *Lactobacillus* spp. found in healthy canines was 1.5×10^3 cfu/mg (González-Ortiz et al., 2013). In another

investigation to investigate the change in fecal microbiota with the administration of probiotics in dogs, the amount of *Lactobacillus* spp. in healthy dogs that did not get probiotics was found to be 5.2×10^2 cfu/mg (Pascher et al., 2008). The number of *Lactobacillus* spp. found in feces of dogs with idiopathic epilepsy was 1.5×10^3 cfu/mg (González-Ortiz et al., 2013). In a study to examine the change in fecal microbiota with the use of probiotics in dogs, the amount of *Lactobacillus* spp. in the group of healthy dogs that did not get probiotics was found to be 5.2×10^2 cfu/mg (Pascher et al., 2008). In a small population research, feces were collected from an epileptic dog and a healthy dog who did not take medicine, lived in the same residence, and ate the same diet. The study on amplicon sequencing of 16S rRNA gene revealed statistically no significant variation in flora composition between control and epileptic dogs (Muñana et al., 2020). Our study found that healthy dogs had a higher number of *Lactobacillus* spp. compared to epileptic dogs, which was statistically significant ($P < 0.05$). Healthy dogs had significantly larger levels of *Lactobacillus* spp. compared to epileptic dogs, regardless of gender ($P < 0.05$).

In their investigation on the fecal microbiota of Beagle dogs, Benno and Mitsuoka (Benno and Mitsuoka, 1992) found a fecal staphylococci level of 2.5×10^2 cfu/mg. Similar findings were achieved in a study of the bacterial ecology of dogs' gastrointestinal systems, which determined that the staphylococci count in the ileum was 2.5×10^2 cfu/mg. In a study comparing the small intestine and fecal microbiota in healthy Beagle dogs, jejunal staphylococci were calculated to be 7.0×10^1 cfu/mg, while 4×10^2 cfu/mg staphylococci were found in the feces (Mentula et al., 2005). When the influence of dietary lactosucrose on the fecal flora of dogs was studied, 5.0×10^1 cfu/mg staphylococci were found in healthy dogs fed a standard diet (Terada et al., 1992). In a study examining the association between fecal staphylococci population and age in dogs, 1.0×10^1 and 6.0×10^1 cfu/mg enterococci were found in young and senior dogs, respectively (Simpson et al., 2002). The study found that healthy dogs, both male and female, had significantly lower levels of *S. aureus* in their feces than dogs with epilepsy ($P < 0.05$).

The study examined the contents of MAB, CB, *S. aureus*, *E. coli*, *Lactobacillus* spp., and *Enterococcus* spp. for the statistical significance of changes in fecal samples collected from 10 healthy and 10 epileptic dogs of varied breeds and ages. The study found that healthy dogs had significantly lower levels of MAB, CB, *E. coli*, *S. aureus*, and *Enterococcus* spp. in their feces compared to epileptic dogs ($P < 0.05$). Healthy dogs had significantly larger levels of *Lactobacillus* spp. in their feces compared to epileptic dogs ($P < 0.05$). The lower number of *Lactobacillus* spp., which also has probiotic properties, and the higher number

of MAB, CB, *E. coli*, *S. aureus*, and *Enterococcus* spp. in the fecal flora of dogs with epilepsy compared to healthy dogs were evaluated as indicators that the fecal flora of dogs with epilepsy was disrupted to the detriment of probiotic bacteria. This study's comparative data on the bacterial microflora of epileptic dogs suggests that introducing probiotic bacteria to their diets may help regulate the intestinal microbiota and reduce the frequency and severity of epileptic episodes.

Conflict of interest statement: None of the authors have any conflicts of interest to disclose.

Acknowledgement: This study was supported by the Scientific Research Projects Commission of Ondokuz Mayıs University with the project number of PYO.VET.1904.22.028

REFERENCES

- Benno, Y. & Mitsuoka, T. (1992). Evaluation of the anaerobic method for the analysis of faecal microflora of beagle dogs. *J. Vet. Med. Sci.*, **54**, 1039-41. DOI: [10.1292/jvms.54.1039](https://doi.org/10.1292/jvms.54.1039)
- Benno, Y., Nakao, H., Uchia, K. & Mitsuoka, T. (1992). Individual and seasonal variations in the composition of faecal microflora of beagle dogs. *Bifidobacteria Microflora*, **11**, 69-76. DOI: [10.12938/bifidus1982.11.2_69](https://doi.org/10.12938/bifidus1982.11.2_69)
- Biagi, G., Cipollini, I., Grandi, M. & Zaghini, G. (2010). Influence of some potential prebiotics and fiber-rich foodstuffs on composition and activity of canine intestinal microbiota. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **159**, 50-8. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2010.04.012](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.04.012)
- Blake, A.B., Guard, B.C., Honneffer, J.B., Lidbury, J.A., Steiner, J.M. & Suchodolski, J.S. (2019). Altered microbiota, faecal lactate, and faecal bile acids in dogs with gastrointestinal disease. *PLoS One*, **14**, e0224454. DOI: [10.1371/journal.pone.0224454](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224454)
- Boothe, D.M. & Debavalya, N. (2011). Impact of routine antimicrobial therapy on canine faecal *Escherichia coli* antimicrobial resistance: a pilot study. *Int. J. Appl. Res. Vet. Med.*, **9**, 396.
- Citraro, R., Lembo, F., Tallarico, M., Coretti, L., Iannone, L.F., Leo, A., Palumbo, D., Cuomo, M., Buommino, E., Nesci, V., Marascio, N., Iannone, M., Quirino, A., Russo, R., Calignano, A., Constanti, A., Russo, E. & De Sarro, G. (2021). First evidence of altered microbiota and intestinal damage and their link to absence epilepsy in a genetic animal model, the WAG/Rij rat. *Epilepsia*, **62**, 529-41. DOI: [10.1111/epi.16813](https://doi.org/10.1111/epi.16813)
- Davis, C., Cleven, D., Balish, E. & Yale, C. (1977). Bacterial association in the gastrointestinal tract

- of beagle dogs. *Appl. Environ. Microbiol.*, **34**, 194-206. DOI: [10.1128/aem.34.2.194-206.1977](https://doi.org/10.1128/aem.34.2.194-206.1977)
- De Risio, L., Bhatti, S., Muñana, K., Penderis, J., Stein, V., Tipold, A., Berendt, M., Farquhar, R., Fischer, A., Long, S., Mandigers, P.J.J., Matiassek, K., Packer, R.M.A., Pakozdy, A., Patterson, N., Platt, S., Podell, M., Potschka, H., Battle, M.P., Rusbridge, C. & Volk, H.A. (2015). International veterinary epilepsy task force consensus proposal: diagnostic approach to epilepsy in dogs. *BMC Vet. Res.*, **11**, 1-11. DOI: [10.1186/s12917-015-0462-1](https://doi.org/10.1186/s12917-015-0462-1)
- Ekenstedt, K.J. & Oberbauer, A.M. (2013). Inherited epilepsy in dogs. *Topic. Compan. Anim. Med.*, **28**(2), 51-8. DOI: [10.1053/j.tcam.2013.07.001](https://doi.org/10.1053/j.tcam.2013.07.001)
- García-Belenguer, S., Grasa, L., Valero, O., Palacio, J., Luño, I. & Rosado, B. (2021). Gut microbiota in canine idiopathic epilepsy: effects of disease and treatment. *Animal*, **11**, 3121. DOI: [10.3390/ani11113121](https://doi.org/10.3390/ani11113121)
- González-Ortiz, G., Castillejos, L., Mallo, J.J., Àngels, C.M. & Baucells, M.D. (2013). Effects of dietary supplementation of *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 and *Enterococcus faecium* CECT 4515 in adult healthy dogs. *Arch. Anim. Nutr.*, **67**, 406-15. DOI: [10.1080/1745039X.2013.830517](https://doi.org/10.1080/1745039X.2013.830517)
- Grieshop, C.M., Flickinger, E.A. & Fahey, G.C. (2002). Oral administration of arabinogalactan affects immune status and faecal microbial populations in dogs. *J. Nutr.*, **132**, 478-82. DOI: [10.1093/jn/132.3.478](https://doi.org/10.1093/jn/132.3.478)
- Gülhan, T., Boynukara, B., Çiftci, A., Söğüt, M.Ü. & Fındık, A. (2015). Characterization of *Enterococcus faecalis* isolates originating from different sources for their virulence factors and genes, antibiotic resistance patterns, genotypes and biofilm production. *Iran. J. Vet. Res.*, **16**(3), 261-6.
- Hülsmeier, V.I., Fischer, A., Mandigers, P.J., DeRisio, L., Berendt, M., Rusbridge, C., Bhatti, S.F.M., Pakozdy, A., Patterson, E.E., Platt, S., Packer, R.M.A. & Volk, H.A. (2015). International Veterinary Epilepsy Task Force's current understanding of idiopathic epilepsy of genetic or suspected genetic origin in purebred dogs. *BMC Vet. Res.*, **11**, 1-28. DOI: [10.1186/s12917-015-0463-0](https://doi.org/10.1186/s12917-015-0463-0)
- Kearsley-Fleet, L., O'Neill, D.G., Volk, H.A., Church, D.B. & Brodbelt, D.C. (2013). Prevalence and risk factors for canine epilepsy of unknown origin in the UK. *Vet. Rec.*, **172**(13), 338. DOI: [10.1136/vr.101133](https://doi.org/10.1136/vr.101133)
- Lawrence, M., Kukanich, K., Kukanich, B., Heinrich, E., Coetzee, J.F., Grauer, G. & Narayanan, S. (2013). Effect of cefovecin on the faecal flora of healthy dogs. *Vet. J.*, **198**, 259-66. DOI: [10.1016/j.tvjl.2013.04.010](https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.04.010)
- Löscher, W. (2022). Dogs as a natural animal model of epilepsy. *Front. Vet. Sci.*, **9**, 928009. DOI: [10.3389/fvets.2022.928009](https://doi.org/10.3389/fvets.2022.928009)
- Medel-Matus, J.S., Shin, D., Dorfman, E., Sankar, R. & Mazarati, A. (2018). Facilitation of kindling epileptogenesis by chronic stress may be mediated by intestinal microbiome. *Epilepsy Open*, **3**, 290-4. DOI: [10.1002/epi4.12114](https://doi.org/10.1002/epi4.12114)
- Mengoni, F., Salari, V., Kosenkova, I., Tsenov, G., Donadelli, M., Malerba, G., Bertini, G., Del Gallo, F. & Fabene, P.F. (2021). Gut microbiota modulates seizure susceptibility. *Epilepsia*, **62**, e153-7. DOI: [10.1111/epi.17009](https://doi.org/10.1111/epi.17009)
- Mentula, S., Harmoinen, J., Heikkilä, M., Westermarck, E., Rautio, M., Huovinen, P. & Könönen, E. (2005). Comparison between cultured small-intestinal and faecal microbiotas in beagle dogs. *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 4169-75. DOI: [10.1128/AEM.71.8.4169-4175.2005](https://doi.org/10.1128/AEM.71.8.4169-4175.2005)
- Muñana, K.R., Jacob, M.E. & Callahan, B.J. (2020). Evaluation of faecal *Lactobacillus* populations in dogs with idiopathic epilepsy: a pilot study. *Anim. Microbiom*, **2**, 1-10. DOI: [10.1186/s42523-020-00036-6](https://doi.org/10.1186/s42523-020-00036-6)
- Nsofor, C.A. & Christian, U.I. (2012). Antibiotic resistance profile of *Escherichia coli* isolated from apparently healthy domestic livestock in South-East Nigeria. *J. Cell Anim. Biol.*, **6**(8), 129-35. DOI: [10.5897/JCAB12.005](https://doi.org/10.5897/JCAB12.005)
- Özşavlı, A., Sahin, F., Sadak, M. & Guler, K.C. (2018). Investigation of Kilis province drinking water for coliform bacteria. *Turk. J. Agricult. Food Sci. Technol.*, **6**(1), 65-8. DOI: [10.24925/turjaf.v6i1.65-68.1671](https://doi.org/10.24925/turjaf.v6i1.65-68.1671)
- Pascher, M., Hellweg, P., Khol-Parisini, A. & Zentek, J. (2008). Effects of a probiotic *Lactobacillus acidophilus* strain on feed tolerance in dogs with non-specific dietary sensitivity. *Arch. Anim. Nutr.*, **62**, 107-16. DOI: [10.1080/17450390801892583](https://doi.org/10.1080/17450390801892583)
- Patır, B. & Güran, H.Ş. (2018). Microbiological and chemical quality of Elazığ cheese bread. *Dicle Univ. Fac. Vet. Med. J.*, **11**(2), 83-7.
- Pilla, R. & Suchodolski, J.S. (2020). The role of the canine gut microbiome and metabolome in health and gastrointestinal disease. *Front. Vet. Sci.*, **6**, 498. DOI: [10.3389/fvets.2019.00498](https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00498)
- Sarica, S., Çiftci, A., Demir, E., Kilinc, K. & Yildirim, Y. (2005). Use of an antibiotic growth promoter and two herbal natural feed additives with and without enzyme in wheat based broiler diets. *South Afr. J. Anim. Sci.*, **35**(1), 61-72. DOI: [10.4314/sajas.v35i1.4050](https://doi.org/10.4314/sajas.v35i1.4050)
- Simpson, J., Martineau, B., Jones, W., Ballam, J. & Mackie, R.I. (2002). Characterization of faecal bacterial populations in canines: effects of age, breed and dietary fiber. *Microb. Ecol.*, **44**, 186-97. DOI: [10.1007/s00248-002-001-z](https://doi.org/10.1007/s00248-002-001-z)
- Sørum, H. & Sunde, M. (2001). Resistance to antibiotics in the normal flora of animals. *Vet. Res.*, **32**, 227-41. DOI: [10.1051/vetres:2001121](https://doi.org/10.1051/vetres:2001121)
- Strompfová, V., Lauková, A. & Ouwehand, A.C. (2004). Selection of enterococci for potential

- canine probiotic additives. *Vet. Microbiol.*, **100**, 107-14. DOI: [10.1016/j.vetmic.2004.02.002](https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2004.02.002)
- Terada, A., Hara, H., Oishi, T., Matsui, S., Mitsuoka, T., Nakajyo, S., Fujimori, I. & Hara, K. (1992).** Effect of dietary lactosucrose on faecal flora and faecal metabolites of dogs. *Microb. Ecol. Health Dis.*, **5**, 87-92. DOI: [10.3109/08910609209141294](https://doi.org/10.3109/08910609209141294)
- Tuniyazi, M., Hu, X., Fu, Y. & Zhang, N. (2022).** Canine faecal microbiota transplantation: Current application and possible mechanisms. *Vet. Sci.*, **9**, 396. DOI: [10.3390/vetsci9080396](https://doi.org/10.3390/vetsci9080396)
- Turhan, E.Ü. & Erginkaya, Z. (2016).** Determination of antibiotic resistance of lactic acid bacteria isolates of probiotic foods. *Pamukkale Univers. J. Engin. Sci.*, **22**(7), 620-4. DOI: [10.5505/pajes.2016.87369](https://doi.org/10.5505/pajes.2016.87369)
- Wang, H.X. & Wang, Y.P. (2016).** Gut microbiota-brain axis. *Chinese Med. J.*, **129**, 2373-80. DOI: [10.4103/0366-6999.190667](https://doi.org/10.4103/0366-6999.190667)
- Wang, Y., Zhuo, Z. & Wang, H. (2023).** Epilepsy, gut microbiota, and circadian rhythm. *Front. Neurol.*, **14**, 1157358. DOI: [10.3389/fneur.2023.1157358](https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1157358)
- Wessmann, A., Volk, H.A., Packer, R.M., Ortega, M. & Anderson, T.J. (2016).** Quality-of-life aspects in idiopathic epilepsy in dogs. *Vet. Rec.*, **179**, 229. DOI: [10.1136/vr.103355](https://doi.org/10.1136/vr.103355)
- Willard, M.D., Simpson, R.B., Cohen, N.D. & Clancy, J.S. (2000).** Effects of dietary fructooligosaccharide on selected bacterial populations in feces of dogs. *Amer. J. Vet. Res.*, **61**, 820-5. DOI: [10.2460/ajvr.2000.61.820](https://doi.org/10.2460/ajvr.2000.61.820)



Examination of Ecosystem Services: A Case Study of Amasya University Hakimiyet Campus

Sultan Sevinç KURT KONAKOĞLU^{1*} Kadir Tolga CELİK¹ Tuğba USTÜN TOPAL²
Öner DEMİREL³ Meryem Bihter BİNGÜL BULUT³

¹Amasya University, Faculty of Architecture, Department of Urban Design and Landscape Architecture, Amasya-Türkiye

²Tekirdag Namık Kemal University, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Department of Landscape Architecture, Tekirdag, Türkiye

³Kırıkkale University, Faculty of Fine Arts, Department of Landscape Architecture, Kırıkkale-Türkiye

Received: 24.09.2024

Accepted: 11.10.2024

Published: 31.12.2024

How to cite: Kurt Konakoglu, S.S., Celik, K.T., Ustün Topal, T., Demirel, Ö. & Bingül Bulut, M.B. (2024). Examination of Ecosystem Services: A Case Study of Amasya University Hakimiyet Campus. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 9(4), 521-527. <https://doi.org/10.35229/jaes.1555094>

Atıf yapmak için: Kurt Konakoglu, S.S., Celik, K.T., Ustün Topal, T., Demirel, Ö. & Bingül Bulut, M.B. (2024). Ekosistem Hizmetlerinin Amasya Üniversitesi Hâkimiyet Yerleşkesi Örneğinde İrdelenmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 9(4), 521-527. <https://doi.org/10.35229/jaes.1555094>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-0954>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3036-4206>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9687-927X>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8102-5589>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4496-8198>

*Corresponding author's:

Sultan Sevinç KURT KONAKOĞLU
Amasya University, Faculty of Architecture,
Department of Urban Design and Landscape
Architecture, Amasya-Türkiye
✉: sultansevinc.kurt@amasya.edu.tr

Abstract: Background: Population growth, increasing vehicle numbers, unplanned urbanization and rural-urban migration are reducing green spaces and exacerbating environmental problems such as air, water and noise pollution. In this context, university campuses serve as important small-scale urban models that play a crucial role in maintaining environmental and social well-being within urban ecosystems. Objectives: To evaluate the regulating ecosystem services provided by the tree canopy at Amasya University Hâkimiyet Campus (AUHC), such as air quality, energy savings, and carbon storage. Method: In this study, the land cover and ecosystem services of the AUHC were assessed using the i-Tree Canopy model. Six land cover classes defined for the study area (tree/shrub, grass/herbaceous vegetation, soil/bare ground, impervious buildings, impervious roads, other impervious surfaces) were assessed using 4000 random points and ecosystem services such as air quality were calculated. Results: The tree and shrub canopy covering 31.30% of the AUHC removes 261.53 kg of gaseous and particulate pollutants from the air annually, sequesters 36.57 tons of carbon, and stores a total of 918.42 tons of carbon. The economic value of these ecosystem services was calculated as \$758 for air pollution removal and \$44420 for carbon storage. The land cover distribution of the campus shows that 57.35% consists of impervious surfaces (buildings, roads) and 42.05% is green space. Conclusion: The tree canopy at the AUHC makes a significant contribution to ecosystem services such as improved air quality, carbon sequestration and storage, and these contributions and economic benefits could be further enhanced by increasing tree cover.

Keywords: open green spaces, carbon amount, i-tree canopy, amasya university hakimiyet campus, amasya.

Ekosistem Hizmetlerinin Amasya Üniversitesi Hâkimiyet Yerleşkesi Örneğinde İrdelenmesi

Öz: Arka Plan: Nüfus artışı, artan araç sayısı, plansız kentleşme ve kırsaldan kente göç, yeşil alanları azaltmakta ve hava, su ve gürültü kirliliği gibi çevresel sorunları artırmaktadır. Bu bağlamda, üniversite kampüsleri, kentsel ekosistemlerin çevresel ve sosyal refahını sürdürmede önemli bir rol oynayan küçük ölçekli kentsel modeller olarak hizmet etmektedir. Amaç: Amasya Üniversitesi Hâkimiyet Kampüsü'ndeki (AÜHK) ağaç örtüsünün sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetlerini (hava kalitesi, enerji tasarrufu ve karbon depolama gibi) değerlendirmektir. Yöntem: Bu çalışmada, AÜHK'ndeki arazi örtüsü ve ekosistem hizmetleri, i-Tree Canopy modeli kullanılarak değerlendirildi. Çalışma alanı için tanımlanan altı arazi örtüsü sınıfı (ağaç/çalı, çim/otsu bitki örtüsü, toprak/bitkisiz alan, geçirimsiz yapılar, geçirimsiz yollar, diğer geçirimsiz yüzeyler) 4000 rastgele nokta üzerinden değerlendirildi ve hava kalitesi gibi ekosistem hizmetleri hesaplandı. Bulgular: AÜHK'nün %31,30'unu kaplayan ağaç ve çalı örtüsü, yıllık olarak havadan 261,53 kg gaz ve partikül kirliliği temizlemekte, 36,57 ton karbonu tutmakta ve toplamda 918,42 ton karbon depolamaktadır. Bu ekosistem hizmetlerinin ekonomik değeri, hava kirliliğini temizleme için 758\$ ve karbon depolama için 44420\$ olarak hesaplanmıştır. Kampüsün arazi örtüsü dağılımı, %57,35'inin geçirimsiz yüzeyler (binalar, yollar) ve %42,05'inin yeşil alanlar olduğunu göstermektedir. Sonuç: AÜHK'ndeki ağaç örtüsünün hava kalitesini iyileştirme, karbon yakalama ve depolama gibi ekosistem hizmetleri açısından önemli katkılar sağladığını, ancak ağaç örtüsünün artırılmasıyla bu katkılarının ve ekonomik faydaların daha da artabileceğini göstermektedir.

*Sorumlu yazar:

Sultan Sevinç KURT KONAKOĞLU
Amasya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi,
Kentsel Tasarım ve Peyzaj Mimarlığı Bölümü,
Amasya-Türkiye
✉: sultansevinc.kurt@amasya.edu.tr

Anahtar kelimeler: Açık yeşil alanlar, karbon miktarı, i-tree canopy, amasya üniversitesi hâkimiyet yerleşkesi, amasya.

INTRODUCTION

Over time, the increasing population and number of vehicles in cities, together with unplanned urbanization and rural-urban migration, have led to a reduction in green spaces and along with a growth in various environmental concerns, including air pollution, noise pollution, and water pollution. These factors have resulted in cities becoming unique ecosystems with their own characteristics. Urban ecosystems require sustainable planning and design decisions and implementation that balance conservation and use to ensure both environmental and social well-being.

The reduction and deterioration of green spaces in urban ecosystems negatively influence human health as well as the environment (Doğan and Eroğlu, 2021; Şahin Körmeçli, 2023). In addition, the increase in asphalt and building density, as well as the increase in pollutants from vehicular traffic and other production methods, directly affects ecosystem services such as global climate regulation (carbon storage) and ecological integrity in urban ecosystems (Aktaş et al., 2022). The presence of vegetation plays a crucial role in improving urban ecosystems by acting as a carbon sink, contributing significantly to urban ecology and mitigating the urban heat island effect. Depending on the density of vegetation, it also helps to trap particulate matter from the air (Ersoy Tonyaloğlu, 2023; Oğuztürk and Murat, 2023).

Ecosystem services encompass the benefits derived from ecosystem functions that serve humans, either directly or indirectly (services related to provision, regulation, habitat or support, and cultural aspects). The aim is to increase green spaces in cities and strengthen their connection with each other and with rural green spaces (MEA, 2005; Tülek and Ersoy Mirici, 2019). Plants, especially trees, perform many functions such as providing shade, cooling the air, reducing the heat island effect, storing CO₂, removing pollutants to clean the air, enriching the soil with organic matter such as leaves, branches and fruits, aerating the soil with their roots, providing food and shelter for wildlife, preventing surface runoff of rainwater, recharging groundwater sources, reducing wind and rain erosion, filtering noise, reducing energy consumption and increasing property values (Forman, 2014; Çorbacı and Ekren, 2021). These functions, defined as ecosystem services, vary depending on the species, age and characteristics of the environment in which the plants are located (Coşkun Hepcan and Hepcan, 2017; Sarı et al., 2020). Therefore, green spaces in cities are especially important in terms of ecosystem services (Bolund and Hunhammar, 1999; Forman, 2008; Derkzen et al., 2015). A study by Dogmusoz (2023) examined the costs and benefits of a green roof at İzmir Kâtip Celebi University to assess the

economic feasibility of such projects in İzmir, Türkiye. The advantages were categorized into two groups: public and individual. Additionally, the study identified other benefits that were not easily quantifiable. Physical units were employed to measure each benefit and cost. The findings showed a positive Net Present Value (NPV) for the green roof project, indicating that it is a worthwhile investment with both public and individual advantages.

In many countries, university campuses, which are considered small-scale cities, play a key role in urban landscapes due to their dense structural elements (buildings, roads, hard surfaces) and high population (Ertekin and Çorbacı, 2010; Wibowo et al., 2019; Wang et al., 2021; Ercan Oğuztürk and Pulatkan, 2023). University campuses are not only institutions that provide education and facilities for cities, but also dynamic and multifaceted spaces that contribute to the social, cultural, economic, and environmental fabric of urban landscapes (Colding and Barthel, 2017; Çorbacı, 2017; Çorbacı et al., 2020). Furthermore, university campuses, with their green spaces, diverse vegetation and educational opportunities, enhance urban ecosystems and support the provision of ecosystem services that benefit human health, ecological diversity and the overall wellbeing of urban residents (Doğan et al., 2023; Srivanit and Hokao, 2013).

In recent times, the i-Tree Canopy (iTC) model, developed by the United States Department of Agriculture Forest Service and utilizing a random point sampling approach, has been applied to assess the ecosystem services provided by green spaces, factoring in canopy cover. The iTC tool, which is web-based, evaluates all shrub and tree vegetation in the study area under a single class and estimates the regulating services and their economic valuation (Hilde and Paterson, 2014; USDA, 2021).

Coşkun Hepcan and Hepcan (2017) demonstrated that the canopy cover of Ege University Housing Campus provides regulating ecosystem services that improve air quality. Çakmak and Can (2020) analyzed the role of trees in improving air quality in Ankara Mamak and assessed the economic value of these contributions. Ersoy et al. (2021) investigated the effects of trees and tall shrubs on air quality in Aydın Efeler and emphasized the importance of maintaining green spaces. Şahin Arslan (2021) highlighted the importance of green spaces in improving air quality by investigating the ability of trees in the Çorum Bahçelievler neighborhood to remove air pollutants. Ustun Topal and Demirel (2023) assessed the ecosystem services that improve air quality in the Kuzguncuk neighborhood of Üsküdar, Istanbul, highlighting the environmental and economic importance of green spaces. Şahin Körmeçli (2023) investigated the contributions of vegetation cover in Ankara Altınpark to air quality and determined the economic

value of these contributions. Konakoglu and Şenses (2023) studied the effects of GNSS technology on positioning accuracy in forested areas, highlighting the advantages of the Precise Point Positioning (PPP-AR) technique. Malkoç (2024) analyzed the ecosystem services provided by the Edirne Sarayıçı Tavuk Forest for air quality and assessed the economic value of these services. Elma and Ortaçesme (2024) highlighted the impact of urbanization and increasing population density on green spaces and addressed the importance of these areas during the Covid-19 pandemic.

While these studies analyze ecosystem services such as air quality and carbon storage in specific cities or regions, your research emphasizes the role of university campuses in environmental and social well-being by considering the Amasya University Hâkimiyet Campus as a small-scale urban model. In addition, the identification of six different land cover classes provides a more detailed and systematic approach. By analyzing an educational institution such as Amasya University, your work makes a practical contribution to the academic literature by providing concrete recommendations for the improvement and conservation of green spaces.

This study addresses the concept of university campuses as small-scale city models, with Amasya University Hâkimiyet Campus selected as the study area. The aim of the study is to assess the regulating ecosystem services provided by the tree canopy at the campus, such as air quality, energy savings and carbon storage, using the web-based iTC tool.

MATERIAL AND METHOD

The Hâkimiyet Campus of Amasya University, located within Amasya Province's central district in Türkiye, was selected as the focus of this study. The campus is specifically located on Muhsin Yazıcıoğlu Street. The campus consists of the A-B-C blocks of the Faculty of Education, a conference hall, the central library building, the rectorate building and sports grounds (Figure 1). It is located 2.5 km from the center of Amasya. The campus is within walking distance of the city center, and it takes approximately 7 minutes by car to reach the city center via Muhsin Yazıcıoğlu Street.



Figure 1. The study area.

This study used the i-Tree Canopy (iTC) model, developed by the United States Department of Agriculture Forest Service (USDA), which uses a random point sampling method. The iTC application is used in three main stages: defining the boundaries of the study area, identifying the types of land cover within the study area, and classifying the land cover based on random point sampling. After defining the boundaries of the study area in iTC, six land cover classes defined in the tool were evaluated in the study area.

These are:

- (1) Tree/Shrub (tree and tall shrub vegetation),
- (2) Grass/Herbaceous (areas covered with herbaceous vegetation),
- (3) Soil/Bare Ground (soil surfaces with little or no vegetation),
- (4) Impervious Buildings,
- (5) Impervious Roads, and
- (6) Other Impervious Surfaces.

In the study area, the tree canopy and other land cover were identified and the regulatory ecosystem services provided in terms of air quality were calculated using 4000 random points. Although the iTC tool manual recommends using a total of 500-1000 points, this study aimed to increase accuracy by ensuring that the margin of error for each land cover type was less than ± 1 . Finally, the results obtained from the iTC tool were reported and used for evaluation and recommendations.

RESULTS AND DISCUSSION

The Hâkimiyet Campus of Amasya University has academic buildings (Faculty of Education A-B-C Blocks), an administrative building (Rectorate Building) and sociocultural buildings (Conference Hall, Central Library Building). The campus transport infrastructure consists of roads for vehicles and pedestrians. Car parks, which are an essential element of the transport system, are located parallel to the road. There is a large car park with an impermeable concrete surface near the Rectorate and Library buildings. There are no cycle paths within the campus. The green space system of the campus consists of areas outside the campus buildings and transport networks (Kurt Konakoğlu and Celik, 2023). In a study conducted by Kurt Konakoğlu and Keskiner (2021), 30 different plant taxa were identified on the campus, including 16 deciduous trees and shrubs, 8 evergreen trees and shrubs, and 6 shrubs.

In this study, the iTC tool was used to randomly sample 4000 points based on satellite imagery of the campus. This application uses aerial imagery to assess land cover in each area and classifies it into seven categories:

trees/shrubs, grass/herbaceous plants, soil/bare ground, impervious buildings, impervious roads, other impervious surfaces, and water surfaces.

The land cover types identified at the campus and the number of random points used for each land cover type, along with the total areas (m^2 , %) and standard deviation rates for each land cover type are presented in Table 1. Of these points, 1252 are tree/shrub (29663.455 m^2), 430 are grass/herbaceous (10238.545 m^2), 24 are soil/bare ground (526.09 m^2), 650 are impervious buildings (15054.304 m^2), 1474 are impervious roads (35207.648 m^2) and 170 are other impervious surfaces (3723.107 m^2).

The distribution of points within the land cover classes on the campus, from highest to lowest percentage, is as follows 36.85% impervious roads, 31.30% trees/shrubs, 16.25% impervious buildings, 10.75% grass/herbaceous plants, 4.25% other impervious surfaces and 0.60% soil/bare ground (Figure 2).

Table 1. i-Tree Canopy tool land cover classes and their spatial distributions.

Land Cover Class	Land Cover Description	Number of Random Points	Percentage Covered (%)	Standard Deviation ($\pm$ SD)	Area (m^2)
Tree/Shrub	Areas covered with trees and tall shrubs	1252	31.30	$\pm 0,73$	29663.455 m^2
Grass/Herbaceous Plants	Areas covered with grass and herbaceous plants	430	10.75	$\pm 0,49$	10238.545 m^2
Soil/Bare Ground	Surfaces with sparse or no vegetation cover	24	0.60	$\pm 0,12$	526.09 m^2
Impervious Buildings	All buildings and other structural elements	650	16.25	$\pm 0,58$	15054.304 m^2
Impervious Road	Roads made of asphalt, concrete, etc.	1474	36.85	$\pm 0,76$	35207.648 m^2
Other Impervious Surfaces	Areas covered with artificial ground materials	170	4.25	$\pm 0,32$	3723.107 m^2
Water Surfaces	Artificial and natural water surfaces	0	0.00	$\pm 0,00$	0.00 m^2
Total		4000	100.00		94413.150 m^2



Figure 2. Distribution of sample points within land classes in the study area.

According to the assessment, more than half (57.35%) of the campus consists of buildings, roads and other impervious surfaces (53985.059 m²). Almost half (42.05%) of the campus area is covered with trees/shrubs and grass/herbaceous plants (39902 m²). Open areas with bare soil or no vegetation represent 0.60% of the total study area, with a surface area of 526.09 m².

As a result of the land cover classification conducted using the iTC tool, the pollutants removed from the atmosphere, the amounts of carbon captured and stored, and their monetary values (\$) for the regulatory ecosystem services of the campus are shown in Table 2. The trees on the campus remove a total of 261.53 kg of gaseous and particulate pollutants from the air annually, while the estimated annual amount of carbon captured by the tree canopy is 36.57 tons, and the total amount of carbon stored by the tree canopy is calculated to be 918.42 tons. The economic benefit associated with the removal of gaseous and particulate pollutants by the tree/shrub canopy covering 31.30% of the study area is calculated to be \$758, while the estimated economic value associated with the carbon captured and stored is \$44420. The highest potential regulatory service and economic benefit of the campus tree canopy in terms of air quality is identified as the service value provided for the annual removal of ozone (O₃) and particulate matter (PM₁₀) from the air.

Table 2. Regulatory ecosystem services provided by the tree cover in the study area.

Abbr.	Pollutants Removed from the Atmosphere	Amount	± SD	Value (\$)	± SD
CO	Carbon monoxide (annual)	3.16 kg	± 0.07	5	± 0
NO ₂	Nitrogen dioxide (annual)	12.50 kg	± 0.29	2	± 0
O ₃	Ozone (annual)	150.63 kg	± 3.53	97	± 2
SO ₂	Sulfur dioxide (annual)	26.97 kg	± 0.63	0	± 0
PM _{2.5}	Particulate matter (annual)	7.87 kg	± 0.19	204	± 5
PM ₁₀	Particulate matter (annual)	60.40 kg	± 1.42	450	± 11
CO ₂ seq	Carbon dioxide sequestered by woody plants (annual)	36.57 ton	± 0.86	1701	± 40
CO ₂ stor	Carbon dioxide stored by woody plants (annual)	918.42 ton	± 21.51	42719	± 1001

*The currency is in USD and has been rounded. Standard deviation for removal and benefit amounts are based on the standard deviation of sampled and classified points. SD: Standard Deviation.

Comparing the estimated values in Table 2 for the study area with the values obtained in other studies, it can be stated that the campus has average values both in terms of tree cover and potential regulating services that can be obtained. In a study conducted by Coşkun Hepcan and Hepcan (2017) on the Ege University Housing Campus, it was calculated that the trees on the campus remove a total of 289.27 kg of gaseous and particulate pollutants from the air annually. The estimated annual amount of carbon captured by the canopy is 321.57 tons, and the total amount of carbon stored by the canopy is 8107.86 tons.

The economic benefit related to the removal of gaseous and particulate pollutants by the tree/shrub canopy is calculated to be \$845.96, while the estimated economic value corresponding to the carbon captured and stored is \$405030.13. In the study conducted by Dilaver et al. (2017)

at Ankara University Tandoğan Campus, it was calculated that the trees on the campus remove a total of 17935.30 kg of gaseous and particulate pollutants from the air annually, while the total amount of carbon stored by the tree canopy is 160813.24 tons.

In the study conducted by Ersoy Tonyaloğlu (2023) on the central campus of Aydın Adnan Menderes University, it was calculated that the trees on the campus remove a total of 77.15 kg of gaseous and particulate pollutants from the air annually, with the estimated annual amount of carbon captured by the canopy being 34.98 tons, and the total amount of carbon stored by the canopy being 878.44 tons. The economic benefit associated with the removal of gaseous and particulate pollutants by the tree/shrub canopy covering 12.73% of the study area is calculated to be \$8.80, while the estimated economic value associated with the carbon sequestered and stored is \$294.74.

Ege University's residential campus was established in 1960, Ankara University's Tandoğan campus in 1942, and Aydın Adnan Menderes University's central campus in 1992. Although campus use patterns and establishment dates are influential in both this study and the findings of Coşkun Hepcan and Hepcan (2017), Dilaver et al. (2017), and Ersoy Tonyaloğlu (2023), it is clear that the potential benefits of high tree cover are noteworthy. In addition to these campus-scale studies, Yin et al. (2011) and Kim and Coseo (2018) used the iTC tool at the city scale, Ersoy Tonyaloğlu et al. (2021) and Şahin Körmeçli (2023) at the district scale, and Ghorbankhani et al. (2023) and at the neighborhood scale, Ustun Topal and Demirel (2023) highlighted how vegetation contributes to reducing carbon emissions while capturing and storing carbon in urban areas.

This study shows that the tree canopy, which covers 31.30% of the total area of the Hâkimiyet Campus of Amasya University, provides high economic benefits.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Population growth and urbanization in cities adversely affect air quality. The decrease in vegetated areas and the expansion of impervious surfaces within urban ecosystems have contributed to the urban heat island effect and increased carbon emissions. In this context, this study seeks to emphasize the ecological and economic significance of green spaces on university campuses, which serve as small-scale urban models, particularly in terms of their ecosystem services.

The research focuses on the regulating ecosystem services derived from tree cover and their associated monetary values on university campuses, where environmental impacts are increasingly important, using

the Hâkimiyet campus of Amasya University as a case study. The i-Tree Canopy (iTTC), a web-based application, was employed to analyze the impact of campus vegetation on air quality improvement carbon capture/storage and economic benefits, considering six land cover types and their spatial distribution over 4000 randomly selected points. Findings showed that the tree and shrub canopy, covering 31.30% of the study area, effectively removes 261.53 kg of gaseous and particulate pollutants from the air, captures 36.57 tons of carbon, and sequesters 918.42 tons of carbon. The economic benefit of the pollutant removal is estimated at \$758, while the estimated economic value corresponding to the carbon captured and stored is \$44420. This contribution value represents the sum of the calculations for carbon storage, capture and removal of air pollutants. Increasing the diversity of tree and shrub species on campus would increase the ecosystem benefits. Among the pollutants removed from the air, ozone (O₃), which has a significant impact on climate change, provides the highest benefit. Therefore, campuses with dense vegetation have a significant impact in diminishing the effects of greenhouse gases in the context of climate change.

Although iTTC provides estimates based on canopy cover rather than speciesbased assessments, it contributes to the assessment of deficiencies at different scales and the development of urban ecosystems. Comprehensive studies should be conducted in our country to establish databases and develop methods and modules for assessing the species-specific contributions of campuses to the ecosystem.

This study reveals that the low tree cover on the campus is a limiting factor in terms of regulatory ecosystem services. However, considering the potential for increasing tree cover, it can be concluded that the campus has a good potential for increasing regulatory ecosystem services and their associated economic benefits, both within the campus and for the city. However, improving and increasing tree cover will require significant investment. As shown in this study, it is essential to make general estimates and assessments of the benefits (ecosystem services and economic) provided by tree cover alongside other land cover types, especially for large areas.

Finally, campuses, which can be seen as small city models, must not overlook the importance of maintaining existing trees and tall shrubs and enhancing biodiversity. Prioritizing species that support biodiversity and are suited to local climatic conditions, especially native species, will help to improve and increase tree cover. Even though young trees and shrubs contribute fewer ecosystem services than mature ones, increasing the diversity and number of these younger plants will remain vital for ecosystem services and economic benefits.

REFERENCES

- Aktaş, R., Öztürkci, A. & Ersoy Tonyaloğlu, E. (2022). Evaluation of multiecosystem services in urban areas: The case of Didim/Aydın. *Adnan Menderes University Faculty of Agriculture Journal of Agricultural Sciences*, **19**(2), 275281.
- Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, **29**, 293-301.
- Çakmak, M.H. & Can, M. (2020). Assessing Regulating Ecosystem Services for Improving the Air Quality of Mamak District (Ankara). *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, **4**(2), 141-149. DOI: [10.30516/bilgesci.689509](https://doi.org/10.30516/bilgesci.689509)
- Colding, J. & Barthel, S. (2017). The role of university campuses in reconnecting humans to the biosphere. *Sustainability*, **9**(12), 2349.
- Çorbacı, Ö.L., Turna, T. & Oğuztürk, G.E. (2020). Examining accessibility of public spaces in terms of landscape arrangement: A sample on Dicle University Campus. *Duzce University Journal of Forestry*, **16**(1), 105-127.
- Çorbacı, Ö.L. & Ekren, E. (2021). An Investigation on poisonous plants used in urban open green areas: The case of Rize, *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, **23**(3), 824-836. DOI: [10.24011/barofd.954295](https://doi.org/10.24011/barofd.954295)
- Çorbacı, Ö.L. (2017). Sustainable landscape planning and design, Murat Özyavuz (Ed.), *A review of Karabuk University iron and steel campus according to planting design principles* (335-353 p). Peterlang.
- Coşkun Hepcan, Ç. & Hepcan, Ş. (2017). Assessing air quality improvement as a regulating ecosystem service in the Ege University housing campus. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, **54**(1), 113-120. DOI: [10.20289/zfdergi.299257](https://doi.org/10.20289/zfdergi.299257)
- Derkzen, M.L., Van Teeffelen, A.J.A. & Verburg, P.H. (2015). 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.
- Dilaver, Z., Yuksel, U.D. & Yilmaz, F.C. (2017). Contribution of university campuses to climate change mitigation: Ankara University Tandogan campus case. *Fresenius Environmental Bulletin*, **26**(12), 7018-7024.
- Doğan T.G. & Eroğlu E. (2021). *Using GIS and the diversity indices: A combined approach to woody plant diversity in the urban landscape*. In: Vegetation Index and Dynamics. Eusebio Cano Carmona (Ed.) InTech Open Press, 26 p.
- Doğan, T.G., Eroğlu, E. & Başaran, N. (2023). 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.
- Dogmusoz, B.B. (2023). Benefit-cost analysis of an extensive green roof project in İzmir Kâtip Celebi University cigli campus. *Online Journal of Art and Design*, **11**(3), 219-232.
- Elma, S. & Ortaçşme, V. (2024). Estimating the economic value of green spaces through i-tree program. *PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, **6**(1), 31-49. DOI: [10.53784/peyzaj.1496082](https://doi.org/10.53784/peyzaj.1496082)

- Ercan Oğuztürk, G. & Pulatkan, M. (2023).** *Interaction of urban and university campuses: KTU kanuni campus example.* In Architectural Sciences and Urban/Environmental Studies -I, Ankara: İksad Publication, 22-43.
- Ersoy Tonyaloğlu, E. (2023).** Investigation of regulatory ecosystem services in the case of Aydın Adnan Menderes university campus. *Ecological Perspective*, 3(1), 19-27.
- Ersoy Tonyaloğlu, E., Atak, B.K. & Yiğit, M. (2021).** Assessment of air quality as a regulating ecosystem services in the case of Efeler-Aydın. *Adnan Menderes University Faculty of Agriculture Journal of Agricultural Sciences*, 18(1), 119-125. DOI: [10.25308/aduziraat.867541](https://doi.org/10.25308/aduziraat.867541)
- Ertekin, M. & Çorbacı, Ö.L. (2010).** Landscape planning at university campuses (The landscape project case study of Karabük University). *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 10(1), 55-67.
- Forman, R.T.T. (2014).** *Urban ecology science of cities.* In: Cambridge University Press, 462 p., New York, USA.
- Forman, R.T.T. (2008).** *Urban regions: Ecology and planning beyond the city.* In: Cambridge University Press, 408 p., New York, USA.
- Ghorbankhani, Z., Zarrabi, M. M. & Ghorbankhani, M. (2023).** The significance and benefits of green infrastructures using I-Tree canopy software with a sustainable approach. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 14893-14913. DOI: [10.1007/s10668-023-03226-9](https://doi.org/10.1007/s10668-023-03226-9)
- Hilde, T. & Paterson, R. (2014).** Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in Central Texas. *Journal of environmental management*, 146, 524-534.
- Kim G. & Coseo P. (2018)** Urban park systems to support sustainability: the role of urban park systems in hot arid urban climates. *Forests*, 9(7), 439.
- Konakoğlu, B. & Şenses, S. (2023).** Investigation of Positioning Performance of Precise Point Positioning (PPP) Technique in Woodland Areas Using CSRS-PPP Software. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 23(3), 730-739.
- Kurt Konakoglu, S.S. & Celik, K.T. (2023).** Examination of Amasya University hakimiyet campus' potential to become a sustainable and green campus. 3rd *International Architectural Sciences and Applications Symposium*, 14-15 September, Napoli, Italy, Proceedings Book, 492-504 p.
- Kurt Konakoğlu, S.S. & Keskiner, M.T. (2021).** The concept of ecological sustainability examined via 3D shadow analysis: the case of Amasya University hâkimiyet campus. *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, 22(2), 266-277.
- Malkoç, E. (2024).** Air quality impact of natural protected areas: A case study of Sarayıçi Tavuk Forest, Edirne, Türkiye. *Turkish Journal of Forestry*, 25(3), 333-339. DOI: [10.18182/tjf.1442373](https://doi.org/10.18182/tjf.1442373)
- MEA. (2005).** Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). <http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html>
- Oğuztürk, G.E. & Murat, C. (2023).** Analysis of RTEÜ zihni derin campus with image processing methods in terms of thermal comfort. *Düzce University Journal of Forestry*, 19(2), 118-128. DOI: [10.58816/duzceod.1401102](https://doi.org/10.58816/duzceod.1401102)
- Şahin Arslan, N. (2021).** Investigation of mitigating effect of the parks on air pollution in the case of Corum. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2), 401-407. DOI: [10.32328/turkjforsci.917787](https://doi.org/10.32328/turkjforsci.917787)
- Şahin Körmeçli, P. (2023).** Evaluation of the air pollution reducing effect by urban parks: The case of Altınpark, Ankara. *Artvin Çoruh University Faculty of Forestry Journal*, 24(2), 23-30. DOI: [10.17474/artvinofd.1295845](https://doi.org/10.17474/artvinofd.1295845)
- Sarı, D., Kurt, U., Resne, Y. & Çorbacı, Ö.L. (2020).** Ecosystem services provided by tree species used in urban parks: Rize case, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(4), 541-550. DOI: [10.35229/jaes.774967](https://doi.org/10.35229/jaes.774967)
- Srivanit, M. & Hokao, K. (2013).** 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.
- Tülek, B. & Ersoy Mirici, M. (2019).** Green Infrastructure and Ecosystem Services on Urban Systems, *Peyzaj*, 1(2), 1-11.
- USDA. (2021).** United States Department of Agriculture Forest Service, i-Tree Tools. i-Tree Canopy, https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr_nrs200-2021.pdf. Erişim Tarihi: 19.08.2024.
- Ustun Topal, T. & Demirel, O. (2023)** Measuring air quality impacts of green areas and ecosystem services (ESS) using web-based i-tree canopy tool: A case study in İstanbul. *Turkish Journal of Forest Science*, 7(2), 253-266. DOI: [10.32328/turkjforsci.1341656](https://doi.org/10.32328/turkjforsci.1341656)
- Wang, X., Wang, Y., Qu, X., Huang, B., Li, Z., Sun, J., ... & Yang, X. (2021).** Urban trees in university campus: structure, function, and ecological values. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45183-45198.
- Wibowo, A., Yussof, M.M., Hamzah, T.A.A. & Salleh, K.O. (2019).** *Urban heat signature impact on university campus.* In: Iop Conference Series: Earth and Environmental Science (vol. 338, no. 1, p. 012027). Bristol, UK.
- Yin, S., Shen, Z., Zhou, P., Zou, X., Che, S. & Wang, W. (2011).** Quantifying air pollution attenuation within urban parks: An experimental approach in Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 159(8-9):2155-2163.