



Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

(Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi)

E-ISSN 2548-0006

JAES

AÇEH

25.03.2025

Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi

*Journal of Anatolian
Environmental and Animal Sciences*

Cilt/Volume 10 • Sayı/Number 2 • 2025



Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences

Cilt /Volume: 10, Sayı / Number: 2, 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. Hüsnü AKHAN, Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri 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. Hüsnü AKHAN, Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi
Prof. Dr. İliya TSACHEV, Trakia University Faculty of Veterinary Medicine
Prof. Dr. İlhami ERDOĞAN, 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 Karşlı, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Prof. Dr. Ricardo PEREZ ENRIQUEZ, Genetica Acuicola Programa de Acuicultura Centro de Investigaciones Biológicas 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 Arıman 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. 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. Raşan 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 Delihan 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 ÖZŞEKER, 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 / Longturm and peer-reviewed published

Yayın Tarihi / Publication Date: 25.03.2025

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
Restoration Strategies for Drylands: Impact of Hydrogel and Watering Frequency on Oak, Hawthorn and Pine Seedlings Survival. Restorasyon Stratejileri: Hidrojel ve Sulamanın Meşe, Alıç ve Çam Fidanlarının Sağkalımı Üzerindeki Etkileri. Emre AKAYDIN	Research Araştırma	87-94
Yeni Avrupa Bauhaus Yaklaşımını Tamamlayıcı Gelenekselden Sürdürülebilirlik Dersleri: Bibliyometrik Analiz Yaklaşımı. Sustainability Lessons from the Traditional Complementing the New European Bauhaus Approach: A Bibliometric Analysis Approach. Halil DUYMUŞ	Araştırma Research	95-108
Deniz marulu (<i>Ulva lactuca</i> L. 1753)'nın antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri. Antimicrobial and antioxidant properties of Sea lettuce (<i>Ulva lactuca</i> L. 1753). Aybike TÜRKMEN & Selim SEKKİN	Araştırma Research	109-114
Hydrophite Plant Species Naturally Distributed in Artvin Province and Their Medicinal-Aromatic Uses. Artvin İlinde Doğal Yayılış Gösteren Hidrofit Bitki Türleri ve Tıbbi-Aromatik Kullanımları. Özgür EMİNAĞAOĞLU & Hayal AKYILDIRIM BEĞEN	Research Araştırma	115-125
Should Nest Construction Be Intervened in Domestic Bird Breeding? Evcil Kuş Yetiştiriciliğinde Yuva Yapımına Müdahale Edilmeli mi? Arda Onur ÖZKÖK & Gözde KILINÇ	Research Araştırma	126-131
Green Port and City Integration: Sustainable Approaches in Location Selection. Yeşil Liman ve Şehir Entegrasyonu: Lokasyon Seçiminde Sürdürülebilir Yaklaşımlar. İshak ALTINPINAR	Research Araştırma	132-138
First Evidence-Based Record of Common Pandora <i>Pagellus erythrinus</i> on the Turkish Coast of the Black Sea. Karadeniz'in Türkiye Kıyılarında Kırmızı Mercan <i>Pagellus erythrinus</i> 'ün Kanıtı Dayalı İlk Kaydı. Mehmet AYDIN & Uğur KARADURMUŞ	Research Araştırma	139-142
Developing <i>Lucilia sericata</i> larva on the natural liver or liver agar. Doğal karaciğer veya karaciğer agarı üzerinde gelişen <i>Lucilia sericata</i> larvası. Nevra POLAT, Salih MOLLAHALİOĞLU & Murat KOÇ	Research Araştırma	143-150
Inhibition effect of some plant extracts on <i>Calliteara pudibunda</i> (Linnaeus, 1758) acetylcholinesterase. Bazı Bitki Ekstraktlarının <i>Calliteara pudibunda</i> (Linnaeus, 1758) Asetilkolinesteraz Üzerindeki İnhibisyon Etkisi. Demet KIZIL	Research Araştırma	151-158
Improving Fatty Acid Composition and Some Quality Characteristics of Low-Fat Beef Meatballs with Encapsulated Fish Oil and Black Carrot Pomace. Enkapsüle Balık Yağı ve Kara Havuç Posası İlavesi ile Az Yağlı Dana Köftelerinin Yağ Asidi Kompozisyonu ve Bazı Kalite Özelliklerinin Geliştirilmesi. Gülen YILDIZ TURP, Selin OZUESEN, Buket YILDIRIM, Sezen OZDEMİR & Meltem BOYLU	Research Araştırma	159-166
Anticancer Potential of Lyophilised Medicinal Leech (<i>Hirudo verbana</i>) of Saliva Extract Against Pancreatic Cancer (MIA PaCa-2) Cell Lines. Liyofilize Tıbbi Sülük (<i>Hirudo verbana</i>) Tükürük Ekstraktının Pankreas Kanseri (MIA PaCa-2) Hücre Hatlarına Karşı Antikanser Potansiyeli. Serkan ÖZDEMİR & Hüseyin AYHAN	Research Araştırma	167-173
Şanlıurfa İli Haliliye İlçesinde Kentsel Açık Yeşil Alanların Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi. Evaluation of Urban Open Green Areas in Haliliye District of Şanlıurfa Province with Xeriscape Approach. Erdi EKREN, İbrahim Halil HATİPOĞLU, Ahmet Serkan AKHARMAN & Kübra KAHYA	Araştırma Research	174-181
Derleme: Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları Üretimi ve Çevresel Etkileri. Review: Sustainable Aviation Fuels Production and Environmental Impacts. Gonca YAŞAR & Burcu ONAT	Araştırma Research	182-190
Novel Protein-Fiber Films from Agro-Waste: A Sustainable Approach for Antimicrobial Packaging. Tarımsal Atıklardan Yeni Protein-Ham Lif Filmler: Antimikrobiyal Paketleme İçin Sürdürülebilir Bir Yaklaşım. Muhammed Zahid KASAPOĞLU & Esra AVCI	Research Araştırma	191-201
Investigation of the Presence and Antimicrobial Susceptibilities of <i>C. pseudotuberculosis</i> in Subclinical Mastitis in Cattle Raised in the Aegean Region. Ege Bölgesinde Yetiştirilen Subklinik Mastitisli Sığırlarda <i>C. pseudotuberculosis</i> Varlığının Araştırılması ve Antimikrobiyal Duyarlılıkların Belirlenmesi. Çağatay NUHAY	Research Araştırma	202-207
Ekolojik ve Rekreatif Bağlantılılık Modeli: Ankara İli Örneği Ecological and Recreational Connectivity Model: The Case of Ankara Province Meltem GÜNEŞ TİGEN & Şükran ŞAHİN	Araştırma Research	208-218



Restoration Strategies for Drylands: Impact of Hydrogel and Watering Frequency on Oak, Hawthorn and Pine Seedlings Survival

Emre AKAYDIN^{1,2*}

¹Department of Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ankara University, Turkey

²Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, Directorate General for Combating Desertification and Erosion, Ankara, Turkey

Received: 11.01.2025

Accepted: 29.01.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Akaydin, E. (2025). Restoration Strategies for Drylands: Impact of Hydrogel and Watering Frequency on Oak, Hawthorn and Pine Seedlings Survival. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 87-94. <https://doi.org/10.35229/jaes.1617868>

Atıf yapmak için: Akaydin, E. (2025). Restorasyon Stratejileri: Hidrojel ve Sulamanın Meşe, Alıç ve Çam Fidanlarının Sağkalımı Üzerindeki Etkileri. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 87-94. <https://doi.org/10.35229/jaes.1617868>

<https://orcid.org/0009-0008-3086-2863>

***Corresponding author's:**

Emre AKAYDIN
Department of Landscape Architecture, Faculty
of Agriculture, Ankara University, Turkey
✉: emreakaydin25@gmail.com

Abstract: This study investigates the effects of irrigation frequency and soil hydrogel addition on the drought response and survival of seedlings from three tree species-oak (*Quercus robur* L.), hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) and pine (*Pinus sylvestris* L.)-in a greenhouse experiment. The objective is to assess these factors' implications for ecological restoration in arid and semi-arid regions. A total of 240 seedlings (80 per species) were subjected to four experimental treatments, varying in watering regimes and soil amendments. Experiments 1 and 3 featured daily irrigation for the first 20 days, while Experiments 2 and 4 involved irrigation five times over the same period, followed by 30 days of drought stress. Hydrogel was incorporated into the soil in Experiments 3 and 4 at a rate of 8-10 grams per 8-10 liters of soil. Seedlings were tracked using unique codes and monitored for wilting and survival. Results showed hawthorn seedlings exhibited the highest survival rates and lowest wilting scores, followed by oak and pine. Seedlings grown in hydrogel-amended soil with daily watering demonstrated reduced wilting. The findings suggest that hydrogel addition and increased irrigation frequency enhance drought resilience, indicating potential benefits for using these methods in ecological restoration efforts in water-limited environments.

Keywords: Drought stress, dryland, ecosystem restoration, hydrogel.

Restorasyon Stratejileri: Hidrojel ve Sulamanın Meşe, Alıç ve Çam Fidanlarının Sağkalımı Üzerindeki Etkileri

Öz: Bu çalışmada, sulama sıklığı ve toprak hidrojel ilavesinin, bir sera deneyinde üç ağaç türünden- meşe (*Quercus robur* L.), alıç (*Crataegus monogyna* Jacq.) ve çam (*Pinus sylvestris* L.) fidanlarının kuraklığa tepkisi ve hayatta kalması üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Amaç, kurak ve yarı kurak bölgelerde ekolojik restorasyon için bu faktörlerin etkilerini değerlendirmektir. Toplam 240 fide (tür başına 80), sulama rejimleri ve toprak değişiklikleri bakımından farklılık gösteren dört deneysel uygulamaya tabi tutulmuştur. Deney 1 ve 3'te ilk 20 gün boyunca günlük sulama yapılırken, Deney 2 ve 4'te aynı süre boyunca beş kez sulama yapılmış ve ardından 30 günlük kuraklık stresi uygulanmıştır. Hidrojel, Deney 3 ve 4'te 8-10 litre toprak başına 8-10 gram oranında toprağa dahil edilmiştir. Fidanlar benzersiz kodlar kullanılarak izlenmiştir ve solma indekslerine bakılarak hayatta kalmaları takip edilmiştir. Sonuçlar, alıç fidanlarının en yüksek hayatta kalma oranlarını ve en düşük solma skorlarını sergilediğini, ardından meşe ve çamın geldiğini göstermiştir. Günlük sulama ile hidrojel katkılı toprakta yetiştirilen fidanlar daha az solma göstermiştir. Bulgular, hidrojel ilavesinin ve artan sulama sıklığının kuraklığa dayanıklılığı artırdığını ve bu yöntemlerin su kısıtlı ortamlarda ekolojik restorasyon çabalarında kullanılmasının potansiyel faydalarına işaret ettiğini göstermektedir.

***Sorumlu yazar:**

Emre AKAYDIN
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj
Mimarlığı Bölümü, Türkiye
✉: emreakaydin25@gmail.com

Anahtar kelimeler: Ekosistem restorasyonu, hidrojel, kurak alan, kuraklık stresi.

INTRODUCTION

Drought and desertification have emerged as pressing global challenges, driven by climate change, land degradation, urbanization, and various human activities (ÇEM, 2013). These processes are particularly concerning in arid and semi-arid regions, where their environmental and socio-economic impacts are profound. Dryland ecosystems are especially vulnerable due to their fragile nutrient cycles and limited resilience to fragmentation (Acosta et al., 2018). Drought, a widespread issue, threatens ecosystems by exacerbating desertification and soil erosion, particularly in regions characterized by high temperatures and irregular rainfall (Anderegg et al., 2016; ÇEM, 2013; Çorbacı & Ekren, 2022). In Mediterranean climates, for instance, summer droughts represent a critical period for plant survival, significantly influencing vegetation dynamics (Çorbacı & Özyavuz, 2024; Sanchez et al., 2014). Given these challenges, ecological restoration has become a pivotal approach to mitigate the adverse effects of drought and land degradation. Restoration efforts aim to rebuild ecosystems to resemble their historical conditions, restoring biodiversity and ecological functions (Öner & Sivacioğlu, 2010). Effective restoration requires the identification and management of biological factors that limit recovery, along with strategies that enhance natural ecological processes. Approaches that focus on accelerating natural restoration processes, rather than merely controlling degradation factors, can lead to more successful and cost-effective outcomes (Bongers & Tennigkeit, 2010; Çorbacı & Bayramoğlu, 2021). The selection of appropriate plant species is crucial in restoration efforts, particularly those capable of improving soil moisture retention and reducing salinity and pH levels (Thomas et al., 2014; Yüksek et al., 2018). Native and well-adapted species are often preferred for their ability to thrive under local environmental conditions. Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.), Hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.), and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) are widely used in restoration projects due to their resilience and ecological contributions (Öner et al., 2016). Scots Pine, a common conifer, is valued for its adaptability to diverse environmental conditions, its role in reducing soil erosion, and its economic importance for timber production (Turna & Güney, 2009). Pedunculate Oak, a key broadleaved species in European forests, is notable for its extensive range and ecological significance, thriving in various soil conditions and contributing to erosion control with its extensive root system (Bektaş et al., 2016). Hawthorn, a small, drought-resistant tree, is also commonly used in restoration projects for its hardiness and ability to grow in infertile soils (Balta et al., 2015). This study focuses on assessing the effects of irrigation frequency and soil hydrogel addition on the drought response and survival of these three species. Conducted in a greenhouse

setting, the research aims to identify effective techniques for enhancing plant survival and growth under drought conditions. By monitoring growth rates, survival, and wilting responses over a controlled experimental period, this study seeks to provide insights into optimizing restoration strategies for arid and semi-arid regions, contributing to the broader goal of ecological resilience and sustainability.

MATERIAL AND METHOD

Materials

This desiccation experiment, conducted over 50 days (22 June to 10 August) in Greenhouse 1 at Bangor University, involved 80 seedlings each of Pedunculate Oak (*Quercus robur*), Hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.), and Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). The study aimed to compare plant responses to drought under two soil conditions (with and without hydrogel) and varying irrigation regimes. Scots Pine seedlings were planted in 4.5 x 4 x 19 cm plastic trays, while the others were bare-rooted. Soil was sourced from the Henfaes Research Centre, and the hydrogel used, STOCKOSORB, was incorporated into the soil at a rate of 8-10 grams per 8-10 liters to create a homogeneous mix (Arbona et al., 2005; Bowman et al., 1990). Each seedling was planted in individual cells containing 350 grams of soil, either with or without hydrogel (Angelina, 2006). Experiments 1 and 3 included hydrogel, while Experiments 2 and 4 did not. Watering was performed using a graduated injector, with 100 ml of clean drinking water per cell (Bayen et al., 2015; Chirino et al., 2011;). During the initial 20 days, seedlings in Experiments 1 and 3 were watered daily, whereas those in Experiments 2 and 4 received water five times throughout the same period. This setup allowed for the assessment of species' drought resistance and water stress response under controlled conditions.

Table 1: Experiment explanations.

Experiment	Irrigation frequency	Soil type	Irrigation period
Experiment 1	Daily	Hydrogel added	20 days
Experiment 2	5 times	Normal	20 days
Experiment 3	Daily	Hydrogel added	20 days
Experiment 4	5 times	Normal	20 days

Methods

Study Area: This study was conducted in Greenhouse 1, located on the roof of the Memorial Building at Bangor University, adjacent to the Thoday Building and opposite the Deniol Library.

Preparation of Soil: Soil for the experiment was sourced from the Henfaes Research Centre in Abergwyngregyn, North Wales, characterized by a temperate climate with an average annual rainfall of 1060 mm and sandy clay soil (Sanchez-Rodriguez et al., 2018). The soil was excavated, sieved to remove large stones, and stored in buckets. After a day in cold storage to mitigate high

temperature effects, 8-10 grams of hydrogel granules were mixed with 8-10 liters of sieved soil for Experiments 1 and 3, while standard soil was used for Experiments 2 and 4.

Soil pH analysis was conducted on five samples, revealing a slightly acidic nature with pH values around 5.90. The process involved crushing the soil, air-drying, and mixing it with water in a 1:2.5 ratio. After shaking and settling, pH readings were taken, confirming consistent slightly acidic values across the samples (Ayan et al., 2007; ÇEM, 2013).

Seedling Cell Preparation: Seedling cells were arranged in book-like trays, each measuring 4.5 x 4 x 19 cm, designed to open easily for root-safe seedling removal. These plastic trays, with narrow holes at the bottom for root aeration, were grouped into sets of 10 book-type cells (Marshall, 2014).

Planting Seedlings: The study utilized 80 seedlings each of oak (*Quercus robur* L.), hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.), and pine (*Pinus sylvestris* L.), sourced from Maelor Nursery in Whitchurch, Wales. The seedlings were delivered bare-rooted and varied in height: Scots pine (10-34 cm), oak (10.5-45.8 cm), and hawthorn (18.8-45 cm). Each cell was filled with approximately 350 grams of soil, and seedlings were randomly planted in the Thoday Building laboratory to avoid interference (Angelina, 2006; Kozłowski et al., 1997). Each seedling was assigned a unique three-digit code to facilitate tracking across the four treatment groups (Experiments 1, 2, 3, and 4). As seen in Table 2, the codes used a combination of letters and numbers, with each digit representing specific details of the treatment setup (Rosenfield & Müller, 2017). Each experimental group contained 60 seedlings (20 of each species), and individuals were numbered from 1 to 20.

Table 2: Unique codes and numbers to track and separate all experiments and species.

Codes	Meaning
A	Daily watering for the first 20 days before dry-down
B	5 times watering in the first 20 days of the experiment
X	Soil without hydrogel
Y	Soil with hydrogel
1	Scots Pine (<i>Pinus sylvestris</i>) species
2	Pedunculate Oak (<i>Quercus robur</i>) species
3	Hawthorn (<i>Crataegus monogyna</i>) species
-1 to 20	The number of each individual in the experiments

The first two codes made it easy to understand the watering frequency and soil type according to the experiments (AX: experiment 1; BX: experiment 2; AY: experiment 3; BY: experiment 4). For example, AX1-13 means the 13th individual of Scots pine in trial 1.

Control of Greenhouse and Bangor Temperatures: The study, conducted from June 22 to August 10, monitored temperature differences between Bangor and the greenhouse daily between 5-6 pm using a thermometer. Water loss was measured by weighing a 10 kg water-filled bucket. The highest greenhouse temperatures (above 30°C) were recorded from June 24 to July 8, promoting seedling growth and flowering during the initial

20-day irrigation period. Water loss increased with higher temperatures.

Watering: Two watering schedules were employed during the first 20 days. Experiments 1 and 3 (120 seedlings total) were watered daily, while Experiments 2 and 4 were watered on days 1, 5, 10, 15, and 20. Careful watering ensured optimal growth without overwatering, which could harm roots. Approximately 100 ml of water was used per seedling, measured to account for soil water retention after drainage. Watering was done at 5 pm to mimic natural evaporation patterns (Marshall, 2014).

Drought Exposure: Irrigation ceased after the first 20 days to induce drought stress, with seedlings monitored for wilting over 30 days (Huangh et al., 2015; Kalefetoğlu & Ekmekçi, 2005). Greenhouse temperatures remained above 27°C. Weeds were manually removed to prevent interference with water uptake and soil quality.

Statistical Analyses: Flowering seedlings were analysed in SPSS, as wilting index assessments relied on leaf changes. Non-flowering oaks and hawthorns were excluded. Variance in trial, soil type, wilting index, and watering frequency was analysed using repeated measures ANOVA. Temperature and water loss differences between Bangor and the greenhouse were evaluated using T-tests. Wilting scores ranged from 0 (normal) to 5 (dead), with statistical significance assessed at $p < 0.05$. Wilting scores were recorded on days 20, 40, and 50.

Wilting Index: The Engelbrecht and Kursar (2003) wilting index was used for daily visual assessments, focusing on changes in leaf angle and surface structure. The most wilted leaves were evaluated to ensure accurate scoring, allowing performance comparison across soil types and watering schedules.

RESULTS

Some species showed no growth or leaf development over the 50-day period, making it impossible to assess wilting and drought resistance. As a result, 37 pedunculate oaks and 13 hawthorns were excluded from the analysis. The specific seedlings excluded were AX2-4, AX2-6, AX2-8, AX2-9, AX2-11, AX2-16, AX2-18, BX2-1, BX2-2, BX2-4, BX2-5, BX2-6, BX2-8, BX2-9, BX2-10, BX2-12, BX2-13, BX2-14, BX2-19, BX2-20, BX3-1, BX3-12, BX3-20, AY2-2, AY2-3, AY2-11, AY2-13, AY2-14, AY2-16, AY2-18, AY2-20, AY3-13, AY3-14, AY3-15, AY3-16, AY3-19, AY3-20, BY2-1, BY2-6, BY2-8, BY2-10, BY2-12, BY2-14, BY2-15, BY2-19, BY2-20, BY3-10, BY3-12, BY3-15, and BY3-16. The mean temperature during the study period was 21°C in Bangor and 27°C in the greenhouse, with these values calculated using a T-test in SPSS. Figure 1 shows that Experiment 2 (five times waterings, no hydrogel) exhibited the highest wilting severity, followed by Experiment 1 (daily watering,

hydrogel), Experiment 4 (five times watering, no hydrogel), and Experiment 3 (daily watering, hydrogel). Daily watering and hydrogel use positively influenced wilting stages, while limited watering and no hydrogel accelerated wilting and seedling mortality. Figure 1 indicates that daily watering consistently resulted in lower wilting scores compared to five waterings, especially after day 40, where wilting scores increased steadily in all experiments. Scots pines showed the poorest growth and survival, with many nearing death. In

contrast, hawthorns had the lowest wilting scores and highest growth rates, with wilting patterns for oak and hawthorn being similar. However, hawthorns experienced less wilting and demonstrated superior growth. Figure 1 highlights that hydrogel significantly improved seedling survival and reduced wilting index values, with lower mean wilting scores observed in hydrogel-treated soils. The wilting stages, ranging from 0 (normal) to 2.5 (wilted), reflect the positive impact of hydrogel on plant resilience.

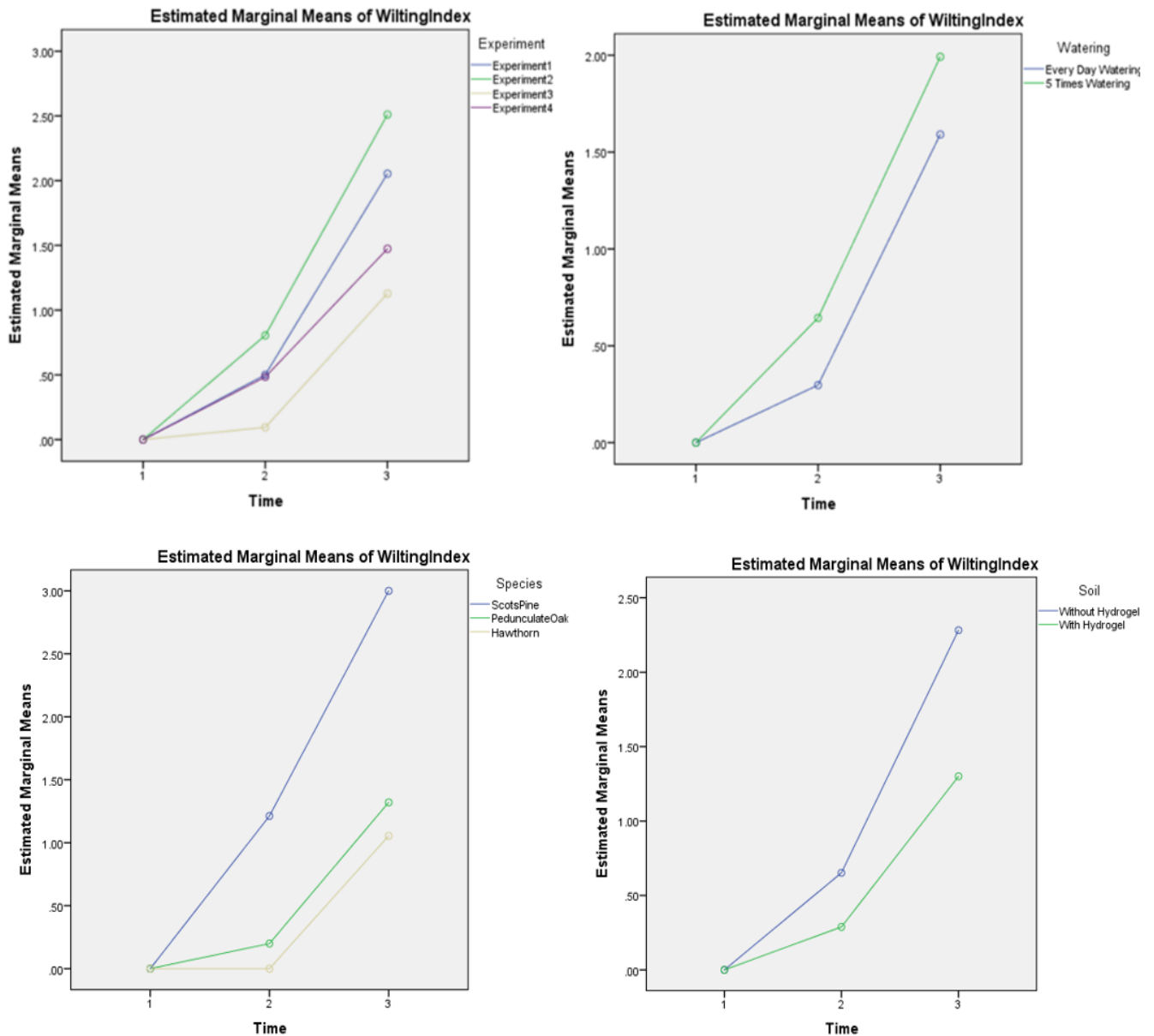


Figure 1. Mean Wilting Index Values Over Time: Variations by Experiment, Species, Watering Frequency, and Soil Type.

Growth rates of seedling species: In this part, mean growth rates were calculated in SPSS according to seedling species. Hawthorn exhibited the highest growth rate across all trials, while Scots Pine consistently showed the lowest (Table 3). Significant differences were observed between Scots Pine and Pedunculate Oak, as well as

between Hawthorn and Pedunculate Oak, but not between Pedunculate Oak and Hawthorn (Table 4).

Mean seedling growth rates according to hydrogel use in soil: These analyses examined the effects of hydrogel use in soil on seedling growth. As indicated in Table 5, 94 seedlings were planted in hydrogel-amended soil and 96 in soil without hydrogel. By day 50, seedlings

in hydrogel-amended soil exhibited a higher average growth rate. Table 6 confirms a significant difference between the two groups, indicating a positive impact of hydrogel on seedling growth.

Table 3. Mean growth rates of species from the beginning to the end of the study.

	Species	Mean	Std. Deviation	N
Beginning	Scots Pine	238.850	644.354	80
	Pedunculate Oak	287.860	762.157	43
	Hawthorn	281.060	699.339	67
	Total	264.826	723.460	190
Growth on the 50 th day	Scots Pine	250.000	861.031	80
	Pedunculate Oak	304.605	773.419	43
	Hawthorn	316.731	833.906	67
	Total	285.889	884.230	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 4. Comparisons of species growth performance.

(I) Species	(J) Species	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Scots Pine	Pedunculate Oak	-5.181	1.399	0.001
	Hawthorn	-5.447	1.225	0.000
Pedunculate Oak	Scots Pine	5.181	1.399	0.001
	Hawthorn	-0.266	1.445	1.000
Hawthorn	Scots Pine	5.447	1.225	0.000
	Pedunculate Oak	0.266	1.445	1.000

Table 5. Mean growth rates of species from the beginning to the end of the study according to the use of hydrogel in soil.

	Soil	Mean	Std. Deviation	N
Beginning	Without Hydrogel	251.552	783.357	96
	With Hydrogel	278.383	632.505	94
	Total	264.826	723.460	190
	Without Hydrogel	274.271	1.011.977	96
Growth on the 50 th day	With Hydrogel	297.755	717.398	94
	Total	285.889	884.230	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 6. Comparisons of soils with and without hydrogel in terms of their effects on seedling growth.

(I) Soil	(J) Soil	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Without Hydrogel	With Hydrogel	-2.516	1.123	0.026
With Hydrogel	Without Hydrogel	2.516	1.123	0.026

Mean seedling growth rates as a function of watering frequency: Watering frequency was another factor affecting seedling growth and wilting during the first 20 days of the study. Tables 7 and 8 demonstrate that daily watering was consistently more effective than watering five times, with a significant difference observed irrespective of soil type.

Table 7. Mean growth rates of species from the beginning to the end of the study according to watering frequency.

	Watering	Mean	Std. Deviation	N
Beginning	Daily Watering	276.000	718.528	100
	5 Times Watering	252.411	712.440	90
	Total	264.826	723.460	190
	Daily Watering	302.260	868.938	100
Growth on the 50 th day	5 Times Watering	267.700	870.000	90
	Total	285.889	884.230	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 8. Comparisons of soils with and without hydrogel.

(I) Watering	(J) Watering	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Daily Watering	5 Times Watering	2.907	1.119	0.010
5 Times Watering	Daily Watering	-2.907	1.119	0.010

Wilting index of species: Wilting was not observed during the first 20 days. The analysis focused on days 20, 40, and 50, as wilting changes were noted during this period. Day 20 was selected for initial analysis due to

significant leafing and flowering. Table 9 shows Scots Pine experienced the most wilting, followed by Pedunculate Oak, while Hawthorn exhibited the least. Table 10 indicates significant differences in wilting for Scots Pine compared to other species, but no significant difference between Hawthorn and Pedunculate Oak.

Table 9. Wilting index of species according to 3 time points.

	Species	Mean	Std. Deviation	N
20 th Day	Scots Pine	0.0000	0.00000	80
	Pedunculate Oak	0.0000	0.00000	43
	Hawthorn	0.0000	0.00000	67
	Total	0.0000	0.00000	190
40 th Day	Scots Pine	12.125	161.240	80
	Pedunculate Oak	0.1395	0.77402	43
	Hawthorn	0.0000	0.00000	67
	Total	0.5421	124.544	190
50 th Day	Scots Pine	30.000	203.140	80
	Pedunculate Oak	12.791	136.845	43
	Hawthorn	10.597	117.912	67
	Total	19.263	186.441	190

N: The number of individuals used in the analysis.

Table 10. Comparisons of wilting index of species.

(I) Species	(J) Species	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Scots Pine	Pedunculate Oak	0.9313	0.15395	0.000
	Hawthorn	10.509	0.13483	0.000
Pedunculate Oak	Scots Pine	-0.9313	0.15395	0.000
	Hawthorn	0.1196	0.15909	1.000
Hawthorn	Scots Pine	-10.509	0.13483	0.000
	Pedunculate Oak	-0.1196	0.15909	1.000

Effect of watering frequency on wilting index: Watering frequency also affected the wilting of seedling species in all soil types. Table 11 shows that daily watering resulted in lower wilting scores compared to watering five times over 20 days, irrespective of soil type or hydrogel use. Table 12 highlights a significant difference between daily and five-time watering ($p = 0.014$), confirming the effectiveness of daily watering.

Table 11. Species wilting index in accordance with watering frequencies.

	Watering	Mean	Std. Deviation	N
20 th Day	Daily Watering	0.0000	0.00000	100
	5 Times Watering	0.0000	0.00000	90
	Total	0.0000	0.00000	190
	Daily Watering	0.3500	0.93609	100
40 th Day	5 Times Watering	0.7556	149.389	90
	Total	0.5421	124.544	190
50 th Day	Daily Watering	16.400	171.458	100
	5 Times Watering	22.444	197.917	90
	Total	19.263	186.441	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 12. Comparisons of the effect of watering frequencies on wilting index.

(I) Watering	(J) Watering	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Daily Watering	5 Times Watering	-0.337	0.136	0.014
5 Times Watering	Daily Watering	0.337	0.136	0.014

Comparison of trials and wilting index: In order to know the wilting scores of all the experimental groups and how they related to each other, the experiments and wilting situations were generally compared. Table 13 shows that from day 20 to day 50, Experiment 3 had the lowest wilting value (1.08), indicating minimal wilting, followed by Experiment 4 (1.72), Experiment 1 (2.13), and

Experiment 2 (2.8), the highest. Table 14 reveals no significant differences between Experiments 1 and 2, 1 and 4, 2 and 4, and 3 and 4, but significant differences were observed between Experiments 1 and 3, and 2 and 3.

Table 13. Mean wilting index values of all trials according to 3 time points.

	Experiment	Mean	Std. Deviation	N
20th Day	Experiment 1	0.0000	0.00000	53
	Experiment 2	0.0000	0.00000	43
	Experiment 3	0.0000	0.00000	47
	Experiment 4	0.0000	0.00000	47
	Total	0.0000	0.00000	190
40th Day	Experiment 1	0.5660	121.702	53
	Experiment 2	0.9070	155.554	43
	Experiment 3	0.1064	0.31166	47
	Experiment 4	0.6170	143.789	47
	Total	0.5421	124.544	190
50th Day	Experiment 1	21.321	194.182	53
	Experiment 2	28.140	205.004	43
	Experiment 3	10.851	121.279	47
	Experiment 4	17.234	177.791	47
	Total	19.263	186.441	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 14. Comparisons of experiments mean wilting index.

(I) Experiment	(J) Experiment	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Experiment 1	Experiment 2	-0.3409	0.18713	0.420
	Experiment 3	0.5022	0.18268	0.039
	Experiment 4	0.1192	0.18268	1.000
Experiment 2	Experiment 1	0.3409	0.18713	0.420
	Experiment 3	0.8431	0.19241	0.000
	Experiment 4	0.4602	0.19241	0.107
Experiment 3	Experiment 1	-0.5022	0.18268	0.039
	Experiment 2	-0.8431	0.19241	0.000
	Experiment 4	-0.3830	0.18808	0.259
Experiment 4	Experiment 1	-0.1192	0.18268	1.000
	Experiment 2	-0.4602	0.19241	0.107
	Experiment 3	0.3830	0.18808	0.259

The Effects of Soil Types on the Wilting Index:

The soil impact on seedlings species was quite high since the beginning of this study, so it was necessary to analyse its effects on the wilting of seedling species. Table 15 shows that by day 50, the absence of hydrogel significantly increased wilting, with an average wilting index of 2.44, indicating moderate wilting. Table 16 confirms a significant difference, with hydrogel-amended soil exhibiting better performance than soil without hydrogel.

Table 15. Mean wilting index rates in accordance with soil types.

	Soil	Mean	Std. Deviation	N
20th Day	Without Hydrogel	0.0000	0.00000	96
	With Hydrogel	0.0000	0.00000	94
	Total	0.0000	0.00000	190
40th Day	Without Hydrogel	0.7188	138.186	96
	With Hydrogel	0.3617	106.611	94
	Total	0.5421	124.544	190
50th Day	Without Hydrogel	24.375	200.952	96
	With Hydrogel	14.043	154.724	94
	Total	19.263	186.441	190

N: The number of individuals used in analysis.

Table 16. Comparisons of mean wilting index in accordance with soil types.

(I) Soil	(J) Soil	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Without Hydrogel	With Hydrogel	0.463	0.134	0.001
With Hydrogel	Without Hydrogel	-0.463	0.134	0.001

DISCUSSION

The ability of plants to resist drought is critical for understanding species' soil moisture association and physiological and morphological adaptations (Engelbrecht

& Kursar, 2003). This study evaluated drought responses of 43 pedunculate oaks (*Quercus robur* L.), 67 hawthorns (*Crataegus monogyna* Jacq.), and 80 Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) under hydrogel supplementation and two irrigation treatments, using repeated-measures ANOVA. Fifty broadleaved species were excluded due to defoliation. Contrary to expectations, *Crataegus monogyna* Jacq. outperformed *Pinus sylvestris* L. in survival and growth during 20-day irrigation and 30-day drought periods. Survival was assessed using a six-level wilting index. Experimental groups included variations in irrigation density and hydrogel addition (STOCKOSORB). By day 20, seedlings-except for *Pinus sylvestris* L.-exhibited significant flowering under watering conditions. Hydrogel reduced wilting across all groups, with *Pinus sylvestris* L. showing the highest mean wilting score (3, "wilted"). *Quercus robur* L. ranged between "slightly wilted" and "wilted," while *Crataegus monogyna* Jacq. remained "normal" to "slightly wilted." Experiment 3 (daily watering, hydrogel) showed the lowest wilting rates. Annual rainfall impacts biodiversity and species distribution even in tropical forests, where dry seasons lasting over 30 days can reduce survival and growth (Engelbrecht & Kursar, 2003). Engelbrecht and Kursar (2003) and Larcher (1980) define drought resistance as the ability to survive dry periods. Tropical plants like *Beilschmiedia Meisn.* and *Calophyllum* L. wilted early in watering trials, whereas others (e.g., *Tabebuia*) demonstrated high survival. In arid zones, hydrogel-based soil amendments enhance seedling performance by increasing water retention and reducing wilting (Arbona et al., 2005; Chirino et al., 2010). This Bangor greenhouse study confirmed hydrogel's positive impact on drought resistance. Experiment 3 (daily watering, hydrogel) achieved the highest survival. Similar results were noted for *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. and *Citrus reshni* (Engl.) Yu. Tanaka in hydrogel-amended soils (Arbona et al., 2005). Chirino et al. (2010) found *Quercus suber* L. seedlings in hydrogel-enriched soils exhibited superior water retention and growth. Conversely, lack of hydrogel increased mortality, particularly for *Pinus sylvestris* L. Further, superabsorbent polymers (SAPs) like hydrogel reduce transpiration and increase water retention (Specht & Harvey, 2000), aiding dryland restoration. However, root collar diameter effects remain underexplored (Chirino et al., 2011). Local species with bare roots, mulching, and hydrogel significantly reduce water stress in arid regions (Ayan et al., 2007; Taeger et al., 2015). Native UK species like *Pinus sylvestris* L. adapted well to greenhouse conditions, although high temperatures during transport may have stressed roots. Despite time constraints (30-day desiccation), findings highlight hydrogel's potential for improving survival in restoration studies. Tested species

(*Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Crataegus monogyna* Jacq.) are viable for arid restoration. Future studies should explore hawthorn's performance under diverse environmental conditions and drought intensities.

CONCLUSIONS

All expectations were met except for the performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in this greenhouse experiment. Surprisingly, *Pinus sylvestris* L. showed the poorest growth and highest wilting rates over 50 days, while hawthorn (*Crataegus monogyna* Jacq.) performed best in survival and growth, followed by pedunculate oak (*Quercus robur* L.). Significant differences in wilting rates were observed between *P. sylvestris* and *C. monogyna*. Out of 240 seedlings, 190 were analyzed, with 37 *Quercus robur* L. and *Crataegus monogyna* Jacq. excluded due to defoliation. Experiment 3 (daily watering with hydrogel) yielded the best results, followed by Experiment 4 (five waterings with hydrogel). Hydrogel improved survival and reduced wilting across all conditions, highlighting its effectiveness. Future studies could test alkaline soils, potted seedlings, and extended durations to explore soil traits (e.g., organic matter, root growth). Additional amendments like perlite and peat, and different plant species may enhance restoration success. (De Groot et al., 2013; Escolar et al., 2012). Field experiments in arid areas with sheltered plots would provide more realistic data. Ultimately, selecting drought-adapted species and understanding ecosystems are key to combating drought (Berrahmoni et al., 2015).

REFERENCES

- Acosta, A., d'Albertas Gomes de Carvalho, F., de Souza Leite, M., Saraiva, A. & Metzger, J. (2018).** Gaps and limitations in the use of restoration scenarios: a review. *Restoration Ecology*, 26(6), 1108-1119. DOI: 10.1111/rec.12882
- Anderegg, W.R., Klein, T., Bartlett, M., Sack, L., Pellegrini, A.F., Choat, B. & Jansen, S. (2016).** Meta-analysis reveals that hydraulic traits explain cross-species patterns of drought-induced tree mortality across the globe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(18), 5024-5029. DOI: 10.1073/pnas.1525678113
- Angelina, L. (2006).** *Media Influence on Post-Harvest Container Plant Quality in a Retail Nursery Setting*. MSc Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 122p.
- Arbona, V., Igsekilesias, D., Jacas, J., Primo-Millo, E., Talon, M. & Gómez-Cadenas, A. (2005).** Hydrogel substrate amendment alleviates drought effects on young citrus plants. *Plant and Soil*, 270(1), 73-82. DOI: 10.1007/s11104-004-1160-0
- Ayan, S., Sivacioğlu, A., Öner, M. & Demircioğlu, N., (2007).** Kurak ve yarı kurak alanlarda bitki canlılığını korumada kullanılabilecek toprak ıslah edici materyaller. *Türkiyede Yarıkurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, 16 Ocak 2007, Nevşehir, Türkiye, 183-190.
- Balta, F.M., Karakaya, O. & Ekici, G. (2015).** Physical Features of Hawthorn (*Crataegus* spp.) Growing in Çorum. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 35-42.
- Bayen, P., Lykke, A. & Thiombiano, A. (2015).** Success of three soil restoration techniques on seedling survival and growth of three plant species in the Sahel of Burkina Faso (West Africa). *Journal of Forestry Research*, 27(2), 313-320. DOI: 10.1007/s11676-015-0159-0
- Bektaş, İ., Oruç, S., Bal, B.C. & Ak, A. (2016).** Relationship between Wood Physical Properties of English Oak (*Quercus robur* L.): *Ormançılık Dergisi*, 12(1), 61-71.
- Berrahmoni, N., Regato, P. & Parfondry, M. (2015).** *Global guidelines for the restoration of degraded forests and landscapes in drylands: building resilience and benefiting livelihoods*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20163321860>, Erişim tarihi: 10.12.2017.
- Bongers, F. & Tennigkeit, T. (2010).** *Degraded forests in Eastern Africa management and restoration*, 1st ed., Earthscan, New York, USA, 58p.
- Bowman, C.D., Evans, Y.R. & Paul, J.L. (1990).** Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19911955400>, Erişim tarihi: 15.11.2017.
- ÇEM. (2013).** *Kurak ve Yarı Kurak Alanlarda Ağaçlandırma ve Rehabilitasyon Rehberi*, <http://www.cem.gov.tr/erozyon/Files/moduller/erozyon/KurakveYari%20Kurak%20AlanlarC3%A7land%C4%B1rma%20ve%20Erozyon%20Rehberi%20son.pdf>, Erişim tarihi: 03.09.2018.
- Çorbacı, Ö.L. & Bayramoğlu, E. (2021).** Drought tolerant landscape design approach example of RTE Campus. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(11), 11948-11955.
- Çorbacı, Ö.L. & Ekren, E. (2022).** Kentsel Açık Yeşil Alanların Kurakçıl Peyzaj Açısından Değerlendirilmesi: Ankara Altınpark Örneği, *Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1), 1-11. DOI: 10.56629/paud.1137410
- Çorbacı, Ö.L. & Özyavuz, M. (2024).** Kentsel açık yeşil alanlarda kurakçıl peyzaj (xeriscape) çalışmaları. İnce, K. (Ed.). *Kentsel Yeşil Alanların Sürdürülebilir Yönetimi*, 109-171. DOI: 10.5281/zenodo.12698789
- Chirino, E., Vilagrosa, A. & Vallejo, V. (2011).** Using hydrogel and clay to improve the water status of seedlings for dryland restoration. *Plant and Soil*,

- 344(1-2), 99-110. DOI: [10.1007/s11104-011-0730-1](https://doi.org/10.1007/s11104-011-0730-1)
- De Groot, R. S., Blignaut, J., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Elmqvist, T. & Farley, J. (2013). Benefits of investing in ecosystem restoration. *Conservation Biology*, 27(6), 1286-1293. DOI: [10.1111/cobi.12158](https://doi.org/10.1111/cobi.12158)
- Engelbrecht, B. & Kursar, T. (2003). Comparative drought-resistance of seedlings of 28 species of co-occurring tropical woody plants. *Oecologia*, 136(3), 383-393. DOI: [10.1007/s00442-003-1290-8](https://doi.org/10.1007/s00442-003-1290-8)
- Escolar, C., Martinez, I., Bowker, M. & Maestre, F. (2012). Warming reduces the growth and diversity of biological soil crusts in a semi-arid environment: implications for ecosystem structure and functioning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1606), 3087-3099. DOI: [10.1098/rstb.2011.0344](https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0344)
- Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G. & Guo, R. (2015). Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6(2), 166-171. DOI: [10.1038/nclimate2837](https://doi.org/10.1038/nclimate2837)
- Kalefetoğlu, T. & Ekmekçi, Y. (2005). The effects of drought on plant and tolerance mechanisms. *Gazi University Journal of Science*. 18(4), 723-740.
- Kozłowski, T.T., & Pallardy, S.G. (1997). *Physiology of Woody Plants*, 2nd ed., Academic Press, San Diego, USA, 427p.
- Larcher, W. (1980). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*, 1st ed., Springer Science & Business Media, Berlin, Germany, 172p.
- Marshall, R. (2014). *The Greenhouse Gardener's Manual*, 1st ed., Timber Press, London, UK, 249p.
- Öner, N., Erşahin, S., Ayan, S. & Özel, H. B. (2016). İç Anadolu'da yarı kurak alanların rehabilitasyonu. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 2(1-2), 32-44.
- Öner, N. & Sıvacıoğlu, A. (2010). Yarı kurak bölge ağaçlandırmaları ve çölleşme (Çankırı ve Tosya Örneği). *Çölleşme İle Mücadele Sempozyumu*, 17 Haziran 2010, Çorum, Türkiye, 94-104.
- Rosenfield, M. & Müller, S. (2017). Predicting restored communities based on reference ecosystems using a trait-based approach. *Forest Ecology and Management*, 391, 176-183. DOI: [10.1016/j.foreco.2017.02.024](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.024)
- Sánchez, A., Luzuriaga, A., Peralta, A. & Escudero, A. (2014). Environmental control of germination in semi-arid Mediterranean systems: the case of annuals on gypsum soils. *Seed Science Research*, 24(03), 247-256. DOI: [10.1017/S0960258514000154](https://doi.org/10.1017/S0960258514000154)
- Sánchez-Rodríguez, A.R., Carswell, A.M., Shaw, R., Hunt, J., Saunders, K., Cotton, J. & Misselbrook, T.H. (2018). Advanced processing of food waste based digestate for mitigating nitrogen losses in a winter wheat crop. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 35. DOI: [10.3389/fsufs.2018.00035](https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00035)
- Specht, A. & Harvey, J. (2000). Improving water delivery to the roots of recently transplanted seedling trees: The use of hydrogels to reduce leaf and hasten root establishment. *Journal of Forest Research*, 1, 117-123.
- Taeger, S., Sparks, T.H. & Menzel, A. (2015). Effects of temperature and drought manipulations on seedlings of Scots pine provenances. *Plant Biology*, 17(2), 361-372. DOI: [10.1111/plb.12245](https://doi.org/10.1111/plb.12245)
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P. & Bozzano, M. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66-75. DOI: [10.1016/j.foreco.2014.07.015](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015)
- Turna, I. & Güney, D. (2009). Altitudinal variation of some morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 8(2), 202-208.
- Yüksek, T., Yüksek, F., Özalp, M. & Ölmez, Z. (2018). Determination of the Growth Performance and Soil Protection Ability of the Caper (*Capparis* sp) in Eroded Site in Semi-Arid Region of Artvin, Turkey. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 3(2), 62-67. DOI: [10.35229/jaes.398500](https://doi.org/10.35229/jaes.398500)



Yeni Avrupa Bauhaus Yaklaşımını Tamamlayıcı Gelenekselden Sürdürülebilirlik Dersleri: Bibliyometrik Analiz Yaklaşımı

Halil DUYMUS^{1*}

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

Geliş Tarihi: 13.12.2024

Kabul Tarihi: 25.01.2025

Basım Tarihi: 25.03.2025

Atıf yapmak için: **Duymuş, H. (2025).** Yeni Avrupa Bauhaus Yaklaşımını Tamamlayıcı Gelenekselden Sürdürülebilirlik Dersleri: Bibliyometrik Analiz Yaklaşımı. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(2), 95-108. <https://doi.org/10.35229/jaes.1600927>

How to cite: **Duymuş, H. (2025).** Sustainability Lessons from the Traditional Complementing the New European Bauhaus Approach: A Bibliometric Analysis Approach. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(2), 95-108. <https://doi.org/10.35229/jaes.1600927>

* <https://orcid.org/0000-0002-8113-9674>

***Sorumlu yazar:**

Halil DUYMUS

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

✉: hduymus@cu.edu.tr

Öz: Bu çalışma, antik bahçe tasarımlarından modern doğa tabanlı çözümlere uzanan sürdürülebilirlik derslerini inceleyerek, Yeni Avrupa Bauhaus girişimi çerçevesinde nasıl uygulanabileceğini ele almaktadır. Amaç, geleneksel tasarım ilkelerinin yeşil altyapı ve doğa tabanlı çözümlerle birleştirilerek modern kentleşme süreçlerine katkı sağlamasını değerlendirmektir. Araştırma, Web of Science veri tabanında gerçekleştirilen bibliyometrik analizle literatürdeki eğilimleri ve araştırma boşluklarını ortaya koymaktadır. Bulgular, antik bahçelerin su yönetimi, biyolojik çeşitlilik ve estetik tasarım gibi ilkelerinin, Yeni Avrupa Bauhaus'un sürdürülebilirlik vizyonuna katkı sağlayabileceğini göstermektedir. İncelenen literatür, çevre bilimleri ve sürdürülebilirlik çalışmalarında disiplinler arası bir yaklaşımın hâkim olduğunu, Yeni Avrupa Bauhaus'un kapsayıcılık ve estetik ilkeleriyle bu çerçeveye yeni bir boyut kattığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, Yeni Avrupa Bauhaus'un doğa tabanlı çözümlerle modern şehirlerin çevresel ve sosyal zorluklarını aşmada bir katalizör olduğu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik yeni yaklaşımların geliştirilmesi için önemli bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yeni avrupa bauhaus, doğa tabanlı çözümler, sürdürülebilir peyzaj tasarımı, antik bahçe tasarımları, yeşil altyapı.

Sustainability Lessons from the Traditional Complementing the New European Bauhaus Approach: A Bibliometric Analysis Approach

Abstract: This paper examines the principles of sustainability as exemplified by ancient garden designs and modern nature-based solutions, and considers their applicability within the context of the New European Bauhaus initiative. The objective is to assess the potential of integrating traditional design principles with green infrastructure and nature-based solutions to inform contemporary urbanisation processes. The research identifies trends and research gaps in the literature through a bibliometric analysis of the Web of Science database. The findings demonstrate that the principles of ancient gardens, including water management, biodiversity and aesthetic design, can contribute to the sustainability vision of the New European Bauhaus. The reviewed literature demonstrates that an interdisciplinary approach is a dominant feature of environmental sciences and sustainability studies. The New European Bauhaus adds a new dimension to this framework with its principles of inclusiveness and aesthetics. In this context, the New European Bauhaus has been evaluated as a catalyst to overcome the environmental and social challenges of modern cities with nature-based solutions. The findings provide an important roadmap for the development of new approaches towards sustainability goals.

Keywords: New european bauhaus, nature-based solutions, sustainable landscape design, ancient garden designs, green infrastructure.

GİRİŞ

Yeni Avrupa Bauhaus (YAB) girişimi, Avrupa Birliği tarafından çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eden bir tasarım hareketi olarak başlatılmıştır. İlk kez 2020 yılında Avrupa

Komisyonu tarafından duyurulan bu girişim, sanat, tasarım, mimarlık ve çevre dostu teknolojilerin kesişim noktasında yer alarak, estetik ve işlevselliği bir araya getiren sürdürülebilir mekânlar yaratmayı amaçlamaktadır (Rosado-García et al., 2021). YAB, yalnızca yenilikçi teknolojilere ve

modern mimari yaklaşımlara dayanmaz; aynı zamanda tarihten alınacak dersler ve geçmişin estetik anlayışları ile sürdürülebilir çözümler sunar (Nowakowski, 2024). Bu bağlamda, antik dönemde inşa edilen bahçeler ve geleneksel peyzaj tasarımları, doğa temelli çözümler ve modern sürdürülebilir altyapılar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Cankaya et al., 2016).

Antik dönem bahçeleri, sadece estetik anlamda değil, aynı zamanda doğanın işleyişine saygı gösteren ve ekosistem hizmetlerinden faydalanan sürdürülebilir mekânlar olarak dikkat çekmektedir (Sowińska-Świerkosz et al., 2021). Roma, Pers, Çin ve İslam dünyasındaki bahçeler, dönemin su yönetimi, bitkisel ve çevre tasarım ilkelerini içermektedir (Laforteza et al., 2018). Bu bahçeler, modern zamanlarda popüler hale gelen “doğa temelli çözümler” anlayışının tarihsel öncüleridir (Krauze & Wagner, 2019). Örneğin, su kaynaklarını en etkin şekilde kullanma, biyolojik çeşitliliği koruma ve estetik ile ekolojik sürdürülebilirliği birleştirme gibi uygulamalar, günümüz peyzaj mimarisinin temel taşlarını oluşturmaktadır (Keesstra et al., 2018). Bu bağlamda, geçmişin bahçecilik ve peyzaj uygulamalarının, modern yeşil altyapı tasarımlarına nasıl rehberlik edebileceği önemli bir araştırma alanıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, antik bahçelerden alınabilecek sürdürülebilirlik derslerinin YAB yaklaşımı çerçevesinde nasıl uygulanabileceğini ele almaktır. Bu bağlamda, antik dönem bahçe tasarımlarının doğa temelli çözümler ve modern sürdürülebilir altyapılar üzerindeki etkisini araştırmak, çalışmanın odak noktalarından biridir. Geleneksel bahçe ve peyzaj tasarımları, ekolojik prensiplerle uyumlu altyapılar inşa etmek açısından günümüz mimari ve peyzaj tasarımcıları için önemli bir ilham kaynağı olabilir. Özellikle, ekosistem hizmetlerinden yararlanma, biyolojik çeşitliliği artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama gibi prensipler hem antik bahçelerde hem de modern doğa temelli çözümlerde ortak bir paydada buluşmaktadır (Krauze & Wagner, 2019).

YAB’ın sunduğu bu geniş vizyon, yalnızca sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı değil, aynı zamanda kültürel mirasın korunmasını ve bu mirasın modern tasarım süreçlerine entegre edilmesini de amaçlamaktadır (Rosado-García et al., 2021). Bu bağlamda hem geçmişten alınan dersler hem de ileriye dönük sürdürülebilirlik hedefleri, YAB girişiminin merkezinde yer almaktadır (Sadowski, 2021). Çalışmada ele alınacak ana sorulardan bazıları şunlardır:

- Antik bahçeler ve peyzaj uygulamaları, modern sürdürülebilir altyapılar üzerinde nasıl bir etkiye sahiptir?
- Geleneksel bahçe tasarımlarından çıkarım yapılan sürdürülebilirlik dersleri, YAB girişiminde nasıl uygulanabilir?

- Geçmişte ortaya konan doğa temelli çözümler, modern sürdürülebilir peyzaj tasarımlarıyla nasıl entegre edilebilir?

Bu soruları ele alırken, bibliyometrik analiz yöntemi büyük bir önem taşımaktadır. Bibliyometrik analiz, belirli bir araştırma alanındaki çalışmaların sayısal verilerini inceleyerek, bu alanın genel yapısını ve eğilimlerini anlamamıza olanak tanımaktadır (Aydın, 2023; Donthu et al., 2021; Duymuş, 2024). Bu analiz, literatürdeki çalışmaların hangi konulara odaklandığını, hangi araştırmaların daha fazla etki yarattığını ve hangi araştırma boşluklarının mevcut olduğunu belirlemede etkili bir yöntemdir (Zupic & Čater, 2015). Bu çalışmada, antik dönem bahçe tasarımları (saray, şato, villa bahçeleri vb.), doğa temelli çözümler ve sürdürülebilir altyapılar üzerine yapılmış akademik çalışmalar bibliyometrik analiz ile incelenmiştir. Bu analiz, çalışmanın sadece teorik bir altyapısını oluşturmakla kalmamış, aynı zamanda gelecekte bu alanda yapılacak araştırmalar için bir yol haritası sunacaktır.

Geleneksel bahçelerin modern sürdürülebilirlik anlayışına etkisini anlamak için, öncelikle bu bahçelerin temel özelliklerine bakmak gereklidir (Rostami et al., 2015). Antik Roma bahçeleri, su kaynaklarının etkin kullanımı, gölgeli alanlar oluşturma, tıbbi aromatik özellikleri ile ön plana çıkan doğal bitki taksonlarını kullanma ve biyolojik çeşitliliği artırma gibi prensipler üzerine kurulmuştur (Goddard et al., 2010). Aynı şekilde, Pers bahçeleri de doğanın kendisiyle uyum içinde olmayı hedeflemiş ve su kaynaklarının dikkatli bir şekilde yönetilmesi ile bilinmektedir (Holland, 2004). Çin ve Japon bahçelerinde ise doğanın bir yansıması olarak düzenlenen peyzajlar, insan ve doğa arasındaki uyumu simgelemektedir (Shi et al., 2024). Bu bahçeler, ekolojik sürdürülebilirlik açısından modern peyzaj tasarımlarına önemli dersler sunmaktadır. Örneğin, biyolojik çeşitliliği koruma, su kaynaklarını etkin kullanma ve doğal bitki örtüsü ile entegre olma gibi prensipler, modern doğa tabanlı çözümlerin de temel taşlarını oluşturur (Cannon & Kua, 2017).

Doğa temelli çözümler, günümüzde şehirlerin ekolojik dengesini korumak ve çevresel sorunlarla başa çıkmak için kullanılan en önemli stratejilerdendir (Liu et al., 2021). İklim değişikliği, su kıtlığı ve biyolojik çeşitliliğin azalması gibi sorunlar, modern şehirler üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır (Gómez Martín et al., 2020). Bu sorunlarla başa çıkmak için geliştirilen doğa temelli çözümler, doğal ekosistemlerin işleyiş mekanizmalarından ilham alarak, şehirlerin daha sürdürülebilir hale gelmesini sağlar. Örneğin, yeşil çatı ve duvarlar, su yönetiminde kullanılan doğal filtreleme sistemleri ve biyolojik çeşitliliği artıran peyzaj tasarımları, doğa temelli çözümler arasında yer almaktadır (Engström et al., 2018). Bu çözümler, antik bahçelerin su yönetimi ve ekolojik sürdürülebilirlik

prensipleriyle büyük benzerlikler taşımaktadır (Krauze & Wagner, 2019).

YAB girişimi, estetik ve sürdürülebilirliği bir araya getiren bu doğa temelli çözümlere büyük önem vermektedir (Sadowski, 2021; Rosado-García et al., 2021; Torchia et al., 2023). Bu bağlamda, modern şehirlerin ekolojik sorunlarıyla başa çıkabilmesi için hem geçmişin bahçe ve peyzaj uygulamalarından ilham alması hem de çağdaş doğa temelli çözümler geliştirmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın en önemli hedeflerinden biri, bu iki yaklaşımı bir araya getirerek, geleceğin sürdürülebilir şehirlerinin nasıl inşa edilebileceğine dair bir vizyon sunmaktır.

Bu çalışma, antik bahçelerden modern doğa temelli çözümlere uzanan sürdürülebilirlik derslerini ele alarak, YAB girişimi çerçevesinde nasıl uygulanabileceğini incelemektedir. Bibliyometrik analiz yöntemiyle yapılmış literatür taraması (Dönmez, 2024; Oğuztürk & Pulatkan, 2022; Torchia et al., 2023; Ogotu et al., 2023; Oğuztürk & Acar, 2024), bu alandaki araştırma eğilimlerini ve boşlukları ortaya koymuş, böylece gelecekteki çalışmalar için önemli bir rehber sunması hedeflenmiştir. Geleneksel bahçe tasarımlarından ve doğa temelli çözümlerden alınacak dersler, sadece geçmişin estetik ve ekolojik bilgilerini günümüze taşımakla kalmayacak, aynı zamanda modern peyzaj tasarımı ve sürdürülebilir altyapılar için güçlü bir temel oluşturacaktır.

Antik bahçeler, Doğa tabanlı çözümler ve YAB yaklaşımları

Antik bahçeler ve sürdürülebilirlik: Antik bahçeler, tarihin erken dönemlerinden itibaren insanlığın doğa ile olan ilişkisini yansıtan önemli mekânlar olmuştur

(Barnett, 1983). Bu bahçelerin tasarım ilkeleri, doğal kaynakların verimli kullanımına ve ekolojik dengelerin korunmasına odaklanmıştır (Rost, 2017). Örneğin, Babil'in Asma Bahçeleri, su yönetimi açısından dikkat çekici bir örnek olarak gösterilebilir. Bu bahçelerde kullanılan sulama teknikleri, yer altı su kaynaklarından faydalanarak bitki örtüsünü canlı tutarken suyun israfını önlemeyi hedeflemiştir (Simms & Dalley, 2009). Su yönetimi, özellikle antik Akdeniz bahçelerinde, kurak iklim koşullarına uyum sağlayabilmek adına büyük bir önem taşımıştır (Angelakis et al., 2020). Su kanalları, çeşmeler ve yer altı rezervuarları bu bahçelerin temel su yönetimi araçları olarak karşımıza çıkmaktadır (Garcia et al., 2015).

Antik bahçeler aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin korunması ve geliştirilmesi konusunda da örnek teşkil ederler (Mounce et al., 2017). Yunan ve Roma bahçeleri, sadece estetik amaçlar için değil, aynı zamanda tarımsal üretimi artırmak ve çeşitli bitkilerin korunmasını sağlamak amacıyla planlanmışlardır (Galluzzi et al., 2010). Bu bahçeler, yerel flora ve faunanın korunmasına yönelik bir biyolojik çeşitlilik stratejisi olarak kabul edilebilir (Potts et al., 2006). Bunun yanı sıra, ekosistem hizmetlerinin bilinçli bir şekilde kullanımı da bu bahçelerin sürdürülebilirlik açısından önemli bir boyutunu oluşturur (Goddard et al., 2010). Örneğin, toprak erozyonunu önlemek ve su tutma kapasitesini artırmak amacıyla çeşitli bitki türleri tercih edilmiştir (Dunn, 2017).

Antik bahçelerin Tablo 1'de verilen tasarım ilkeleri hem estetik hem de işlevsel amaçlarla doğayla uyumlu, sürdürülebilir ve ekolojik dengeyi gözetken yöntemler içerir.

Tablo 1. Antik bahçelerin temel tasarım ilkeleri.

Table 1. Basic design principles of ancient gardens.

Tasarım ilkesi	Amaç ve hedef	Açıklama	Örnekler
Doğa ile Uyumluluk (Beck, 2014)	Doğal çevreyle uyum içinde olma, yerel ekosistemle bütünleşme.	Bahçeler, yerel iklim ve coğrafi koşullara uygun bitkilerle planlanarak ekosistemle bütünleşmiştir.	Akdeniz bahçelerinde suyu iyi tutan bitkiler, nemli bölgelerde farklı bitki türleri kullanılmıştır.
Su Yönetimi (Whalley, 1988)	Su kaynaklarının verimli kullanımı ve korunması.	Su, estetik ve bitkilerin sulanmasında kullanılmakla birlikte, su kıtlığı olan bölgelerde suyun korunması için çeşitli teknikler kullanılmıştır.	Babil'in Asma Bahçeleri, Roma'nın su kemerleri gibi su kaynaklarını verimli kullanmaya yönelik örnekler.
Estetik ve Sembolik Tasarım (Kandeler & Ullrich, 2009).	Estetik değerleri yansıtmaya ve sembolik anlamlar taşıma.	Bahçeler, düzenli geometrik şekillerle veya organik formlarla tasarlanmış, kutsal bitkiler ve mitolojik anlamlarla zenginleştirilmiştir.	Mitolojik anlamlar taşıyan bitkiler ve estetik semboller içeren geometrik düzenlemeler.
Biyolojik Çeşitlilik (Goddard et al., 2010)	Biyolojik çeşitliliği koruma ve artırma.	Yerel ve farklı coğrafyalardan getirilen bitkilerle estetik ve ekosistem çeşitliliği sağlanmıştır.	Roma bahçelerinde süsleme ve tarımsal amaçlarla kullanılan çeşitli bitki türleri.
Mikroklima Yaratma (Tian, 2022)	Mikroklimayı kontrol etme ve daha sağlıklı yaşam alanı yaratma.	Bitkiler, güneş ışığını kontrol etmek, gölge sağlamak ve su buharlaşmasını önlemek amacıyla kullanılmıştır.	Gölgeli alanlar ve suyun buharlaşmasını minimize eden tasarımlar sıcak bölgelerde tercih edilmiştir.
Mekânsal Düzenleme ve Simetri (Ivashko et al., 2021)	Düzenli ve simetrik bir yapıyla işlevsellik sağlama.	Bahçelerde yollar, su unsurları ve heykeller simetrik bir düzen içinde yerleştirilerek görsel ve işlevsel düzen sağlanmıştır.	Yunan ve Roma bahçelerinde yollar ve bitkiler simetrik bir düzenle yerleştirilmiştir.
Sosyal ve Kültürel İşlevler (Boffi et al., 2021)	Sosyal ve kültürel buluşma alanları oluşturma.	Bahçeler, toplumsal buluşmalar ve törenler için sosyal alanlar olarak tasarlanmıştır.	Bahçeler, dinlenme ve törenler için toplumsal alanlar olarak kullanılmıştır.

Antik bahçeler, tasarım ilkeleri açısından doğa ile uyumlu yaşamın mümkün olduğunu göstermektedir. Su yönetimi, biyolojik çeşitlilik ve estetik tasarım unsurları, modern peyzaj tasarımı da sürdürülebilirlik açısından önemli birer rehber olmuştur.

Bu tasarım ilkeleri, günümüz sürdürülebilirlik yaklaşımlarıyla paralellik gösteren bir ekolojik bilincin antik çağlarda da mevcut olduğunu ortaya koymaktadır. Bireysel ve toplumsal yaşamın doğa ile olan entegrasyonu, antik bahçelerdeki sürdürülebilir yaşam pratiklerinin temelini oluşturmaktadır. Antik bahçeler, modern

sürdürülebilirlik uygulamalarına ışık tutan bir model olarak değerlendirilebilir; özellikle su kaynaklarının yönetimi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve doğa ile uyumlu yaşam alanları oluşturma konularında önemli bir bilgi kaynağıdır.

Doğa tabanlı çözümler (DTÇ): DTÇ, ekosistem hizmetlerini ve biyolojik çeşitliliği koruyarak sürdürülebilir şehircilik ve çevresel planlamayı destekleyen yaklaşımlar olarak ön plana çıkmaktadır (Krauze & Wagner, 2019). Yeşil altyapı ve ekosistem hizmetleri, bu çözümlerin temel bileşenleri olarak önem arz etmektedir (Castellar et al., 2021). DTÇ, doğal süreçleri kullanarak insan yapımı çevrenin yani kültürel peyzajın sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlar (Sebastiani et al., 2021) ve bu bağlamda su yönetimi, hava kalitesinin iyileştirilmesi, iklim değişikliğine uyum sağlama gibi kritik işlevler üstlenmektedir (Frantzeskaki, 2019).

Yeşil altyapı, kentlerde ekolojik dengeyi sağlamak için geliştirilen en yaygın doğa tabanlı çözümlerden biridir (Engström et al., 2018). Kentsel planlama ve tasarım çalışmalarında parklar, yeşil çatılar, kent ormanları vb. yeşil alanlar, su döngüsünü desteklemek, ısı adası etkisini azaltmak ve biyolojik çeşitliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır (Dorst et al., 2019). Özellikle son yıllarda kentlerde artan nüfus yoğunluğu ve iklim değişikliği ile başa çıkmak için doğa tabanlı çözümler giderek daha fazla tercih edilmektedir (Frantzeskaki, 2019). Örneğin, Londra'daki Thames Gateway projesi, doğa tabanlı çözümler ile şehirdeki taşkın riskini azaltmayı ve su kalitesini artırmayı hedefleyen örnek bir projedir (Brownill & Carpenter, 2009).

Ekosistem hizmetleri, DTÇ'nin sürdürülebilirlik potansiyelini artıran bir diğer önemli bileşendir (Mexia et al., 2018). Ekosistem hizmetleri, doğal ekosistemlerin sunduğu su arıtımı, karbon sekestrasyonu, polinasyon gibi hizmetleri ifade etmektedir (Rafferty & Cosma, 2024). Bu hizmetler, kentsel alanların doğa ile daha uyumlu bir şekilde yönetilmesine ve ekolojik ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır (Chen et al., 2021). Ayrıca, ekosistem hizmetleri, kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırarak sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği de destekler (Krauze & Wagner, 2019).

DTÇ, sadece çevresel faydaları değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliği de göz önünde bulunduran bütüncül bir yaklaşımı temsil etmektedir (Davies et al., 2021). Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 programı kapsamında finanse edilen birçok proje, doğa tabanlı çözümlerin şehir planlaması ve iklim değişikliği ile mücadeledeki potansiyelini vurgulamaktadır (Faivre et al., 2017). Bu bağlamda, DTÇ, çevresel sürdürülebilirliğin yanı sıra, toplumsal refahın artırılmasına yönelik önemli bir strateji olarak karşımıza çıkmaktadır (Laforteza & Sanesi, 2019).

YAB yaklaşımı: YAB, Avrupa Komisyonu tarafından başlatılan bir girişim olarak, sürdürülebilir mimarlık ve şehir planlaması için yeni bir paradigmaya işaret eden kapsamlı bir yaklaşımdır (Sadowski, 2021). YAB, estetik, sürdürülebilirlik ve katılımcılığı bir araya getiren disiplinlerarası bir yaklaşımı benimsemektedir (Rosado-García et al., 2021). Bu yaklaşım, sadece yeni teknolojiler ve malzemelerle değil, aynı zamanda geleneksel bilgi ve kültürel mirasla da harmanlanmış sürdürülebilir çözümler sunmayı amaçlamaktadır (Altomonte et al., 2014). Özellikle doğa tabanlı çözümlerle geleneksel tasarım ilkelerinin buluşturulması, YAB'ın en önemli özelliklerinden biridir (Bilić & Šmit, 2024).

YAB'ın en büyük katkılarından biriside, şehir planlamasında geleneksel bilgilere dayanan doğa dostu çözümleri teşvik etmesidir (Sadowski, 2021). Geleneksel mimarlık, doğa ile uyumlu tasarımın ve yerel malzemelerin kullanımını öne çıkarırken, YAB bu unsurları modern teknolojilerle birleştirerek sürdürülebilir şehirler yaratmayı hedeflemektedir (Rosado-García et al., 2021). Örneğin, Akdeniz bölgesindeki geleneksel taş yapılar, YAB projelerinde doğal yalıtım çözümleri olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların, enerji verimliliği açısından modern yapılara kıyasla daha sürdürülebilir olduğu gösterilmiştir (Filippi, 2015).

YAB, ayrıca toplumsal katılımı ve kültürel mirası sürdürülebilir şehir planlamasında önemli bir bileşen olarak kabul etmektedir (Altomonte et al., 2014). Bu yaklaşım, toplulukların kendi şehirlerinde aktif rol oynamasını teşvik eder ve yerel bilgi birikiminden yararlanarak daha anlamlı ve uzun ömürlü projeler geliştirilmesini sağlamaktadır. YAB, sosyal sürdürülebilirliği de göz önünde bulundurarak, tasarım süreçlerinde farklı toplumsal grupların ihtiyaçlarını dikkate alır. Bu, sadece çevresel değil, aynı zamanda sosyal eşitsizliklerle mücadeleye de katkı sağlayan bir yaklaşımdır (Lygnerud et al., 2023).

YAB'ın doğa tabanlı çözümlerle harmanlanmış geleneksel bilgi kullanımı, modern sürdürülebilirlik yaklaşımlarına yeni bir perspektif kazandırmaktadır. Bu bağlamda, YAB, sürdürülebilir şehirlerin inşasında estetik, doğa ile uyum ve toplumsal katılımı bir araya getirerek bütüncül bir yaklaşımla geleceğe ışık tutmaktadır.

YÖNTEM

Bu çalışma, antik bahçe tasarımlarının modern peyzaj tasarım yaklaşımları ve doğa temelli çözümlerle, yeşil altyapı ve sürdürülebilirlik bağlamında incelenmesini ve YAB inisiyatifi çerçevesinde değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Ayrıca, bu tasarımların yeşil altyapıya katkıları ve sürdürülebilirlik ile ilişkileri, bibliyometrik analiz yöntemleri kullanılarak ele alınmıştır. Bu kapsamda

Web of Science Core Collection veri tabanında literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Veritabanı ve entitlements: Araştırma, Web of Science Core Collection veri tabanında gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki entitlements kapsamındaki içeriklere erişim sağlanmıştır:

WOS.SCI	: 2020 to 2024
WOS.AHCI	: 2020 to 2024
WOS.BHCI	: 2020 to 2024
WOS.BSCI	: 2020 to 2024
WOS.ESCI	: 2020 to 2024
WOS.ISTP	: 2020 to 2024
WOS.SSCI	: 2020 to 2024
WOS.ISSHP	: 2020 to 2024

Arama kriterleri: Çalışmada kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: “antique gardens”, “Green Infrastructure”, “sustainability”, “Nature-based Solutions”, “New European Bauhaus”, “NEB”, “NbS”, “Modern Garden Design Approaches” ve “Landscape Design”. Bu terimlerin tümü, Topic alanında aranmış ve 2020 ile 2024 yılı da dahil yayımlanmış araştırma makaleleri ile sınırlandırılmıştır. Araştırma kriterleri dâhilinde analiz edilen doküman tipleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Araştırma kriterleri dahilinde analiz edilen doküman tipleri.
Table 2. Types of documents analysed within the research criteria.

Doküman türü	Kayıt sayısı	Toplam (%)
Article	9,329	100
Early Access	101	1,083
Proceeding Paper	1	0,011
Retracted Publication	6	0,064

Araştırma alanları olarak, Environmental Sciences, Environmental Studies, Architecture, Urban Studies, Regional Urban Planning ve Remote Sensing kategorileri dahil edilmiştir. Türkiye, Suudi Arabistan, Finlandiya, Pakistan, Güney Afrika, Japonya, İsviçre, Güney Kore, Malezya, Portekiz, Fransa, İsveç, Brezilya, Kanada, Hindistan, Hollanda, Avustralya, İspanya, Almanya, İtalya, İngiltere, ABD, Çin, Danimarka ve Norveç gibi ülkelerde yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır.

Ayrıca, tarama sürecinde açık erişim (All Open Access) belgeler tercih edilmiştir. Bu çalışmada incelenen Web of Science kategorileri, Environmental Sciences Ecology, Urban Studies, Water Resources, Architecture, Remote Sensing, Agriculture, Government Law, Plant Sciences, Anthropology ve Cultural Studies olarak belirlenmiştir.

Bibliyometrik analiz: Toplamda 9.329 araştırma makalesinden elde edilen veriler VOSviewer yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Bibliyometrik analiz sürecinde; makale sayısı, araştırma alanlarının dağılımı, yıllara göre yayın eğilimleri, anahtar kelime ağı, ortak yazarlık ve ülke bazlı katkılar gibi metrikler değerlendirilmiştir.

Bu analizler, antik bahçe tasarımlarının DTÇ ve YAB bağlamındaki etkilerini daha iyi anlamamızı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yazarlar ve bağlı oldukları kurumlar, araştırmaya katkı veren ülkeler ve bu kapsamda hangi konularda çalışmaların yapıldığı incelenmiştir. Böylece, antik bahçe tasarımlarının modern peyzaj ve sürdürülebilirlik çalışmaları üzerindeki etkileri sürdürülebilirlik perspektifi ile birlikte yorumlanmıştır.

Veri toplama ve analiz süreci: Tarama işlemi, Tue Dec 03 2024 11:55:56 GMT+0300 (GMT+03:00) gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Toplanan veriler, VOSviewer aracılığıyla grafikler ve ağ analizleri ile detaylandırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular, farklı araştırma alanları ve ülkeler arasındaki ilişkilerin anlaşılmasına yönelik bibliyometrik teknikler ile desteklenmiştir.

ANALİZ VE BULGULAR

Bibliyometrik analiz bulguları: Web of Science Core veri tabanı literatür taramasından elde edilen 9.329 araştırma makalesinden elde edilen bulgular analiz edilmiştir. Tablo 3’de araştırma sonuçlarına göre çalışmaların yapıldığı kategoriler belirtilmiştir.

Tablo 3. WoS kategorileri.

Table 3. WoS categories.

Web of Science Kategorileri	Web of Science Categories	Kayıt Sayısı	% (9.329)
Çevre Bilimleri	Environmental Sciences	9329	100
Yeşil Sürdürülebilir Bilim ve Teknoloji	Green Sustainable Science Technology	5749	61,625
Çevre Çalışmaları	Environmental Studies	5332	57,155
Mühendislik- Çevresel	Engineering Environmental	1158	12,413
Biyçeşitlilik Koruma	Biodiversity Conservation	433	4,641
Su Kaynakları	Water Resources	397	4,256
Ekoloji	Ecology	304	3,259
Meteoroloji ve Atmosfer Bilimleri	Meteorology Atmospheric Sciences	259	2,776
Halk Sağlığı ve Çevresel Sağlık	Public Environmental Occupational Health	259	2,776
Ekonomi	Economics	177	1,897
Yer Bilimleri- Multidisipliner	Geosciences Multidisciplinary	135	1,447
Coğrafya	Geography	84	0,9
Görüntüleme Bilimi ve Fotoğraf	Imaging Science Photographic	80	0,858
Teknolojisi	Technology	80	0,858
Uzaktan Algılama	Remote Sensing	80	0,858
Enerji ve Yakıtlar	Energy Fuels	75	0,804
Deniz ve Tatl Su Biyolojisi	Marine Freshwater Biology	30	0,322
Limnoloji	Limnology	22	0,236
Fiziksel Coğrafya	Geography Physical	20	0,214
Tarım- Multidisipliner	Agriculture Multidisciplinary	14	0,15
Biyoteknoloji ve Uygulamalı	Biotechnology Applied Microbiology	13	0,139
Mikrobiyoloji	Soil Science	13	0,139
Toprak Bilimi	Urban Studies	13	0,139
Kentsel Çalışmalar	Toxicology	11	0,118
Toksikoloji	Computer Science Interdisciplinary	8	0,086
Bilgisayar Bilimi- Disiplinler	Applications	8	0,086
Arası Uygulamalar	Mathematics Interdisciplinary	5	0,054
Matematik- Disiplinler Arası	Applications	5	0,054

WoS verileri incelendiğinde, toplam 9.329 akademik kaydın çevre bilimleri ve sürdürülebilirlik odaklı bir dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Bu analiz, çevresel sorunların ele alınışında disiplinler arası bir yaklaşımın hâkim olduğunu göstermektedir. İncelenen kayıtların tamamı çevre bilimleri kategorisinde yer alırken,

çalışmaların %61,63'ü yeşil ve sürdürülebilir bilim ile teknoloji konularına odaklanmıştır. Bu oran, iklim değişikliği ve çevre koruma gibi küresel önceliklerin bilimsel araştırmalardaki ağırlığını yansıtmaktadır. Çevresel çalışmalar (%57,16) ve çevre mühendisliği (%12,41) kategorileri ise bu temayı destekler nitelikte çok disiplinli bir yapı sunmaktadır.

Daha az temsil edilen kategoriler arasında, biyoçeşitlilik ve koruma (%4,64), meteoroloji ve atmosfer bilimleri (%2,78) ile uzaktan algılama (%0,86) bulunmaktadır. Özellikle uzaktan algılama ve mekânsal analizlerin daha geniş ölçekte ele alınması, çevre sorunlarının çözümüne yönelik stratejik katkılar sağlayabilir. Şehir çalışmaları (%0,14) ve toprak bilimi gibi kentsel ve doğal kaynak odaklı alanlarda ise araştırmaların artırılması gerekliliği dikkat çekmektedir.

Veriler, 2020 ile 2024 yılları arasında çevre bilimleri ve sürdürülebilirlik alanında yapılan yayınların yıllara göre dağılımını analiz etmektedir (Tablo 4). Bu analiz, ilgili alanlardaki akademik üretimin zaman içinde belirgin bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır.

En yüksek yayın sayısı, 2.260 kayıt ile 2021 yılında gerçekleşmiştir ve bu toplamın %24,23'ünü

oluşturmaktadır. Bunu, %23,83 ile 2022 yılı izlemektedir. Bu iki yıl, pandemi döneminin etkisiyle çevre ve sürdürülebilirlik konularına yönelik artan farkındalığı ve bilimsel ilgiyi yansıtmaktadır. 2020 yılı, toplam kayıtların %17,49'u ile nispeten düşük bir paya sahip olmakla birlikte, pandemi kaynaklı ilk küresel etkiyle birlikte bu alanlarda bir ivme kazandığını göstermektedir.

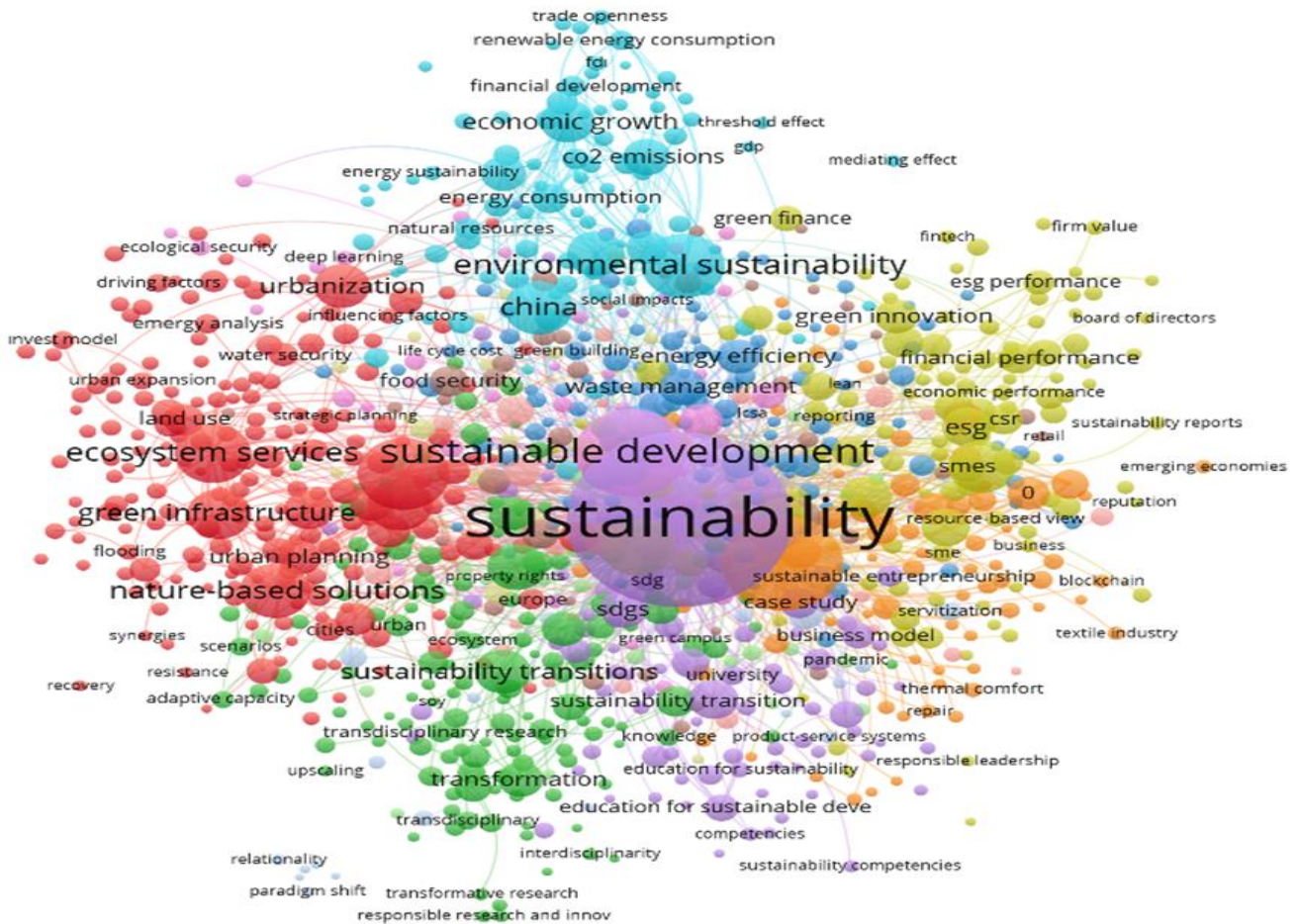
Tablo 4. Yayın yılları.

Table 4. Years of publication.

Yayın yılı	Kayıt sayısı	Oran (%)
2024	1.394	14,9
2023	1.820	19,5
2022	2.223	23,8
2021	2.260	24,2
2020	1.632	17,5

2023 ve 2024 yıllarında yayın sayılarında kısmi bir düşüş gözlemlenmektedir. 2023 yılı, toplam kayıtların %19,51'ini, 2024 ise %14,94'ünü oluşturmaktadır. Bu düşüş, olası yayın süreci gecikmeleri ya da 2021 ve 2022 yıllarında zirve yapan ilginin doğal bir dengelenme sürecine girdiğini gösterebilir. Bununla birlikte, 2024 verileri henüz tamamlanmamış olabilir, bu nedenle gelecekte bu yıl için daha yüksek bir oran gözlemlenebilir.

Çalışmadan elde edilen verilerle göre VOSviewer anahtar kelime analiz sonuçları Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Anahtar kelime bulutu.

Figure 1. Keyword cloud.

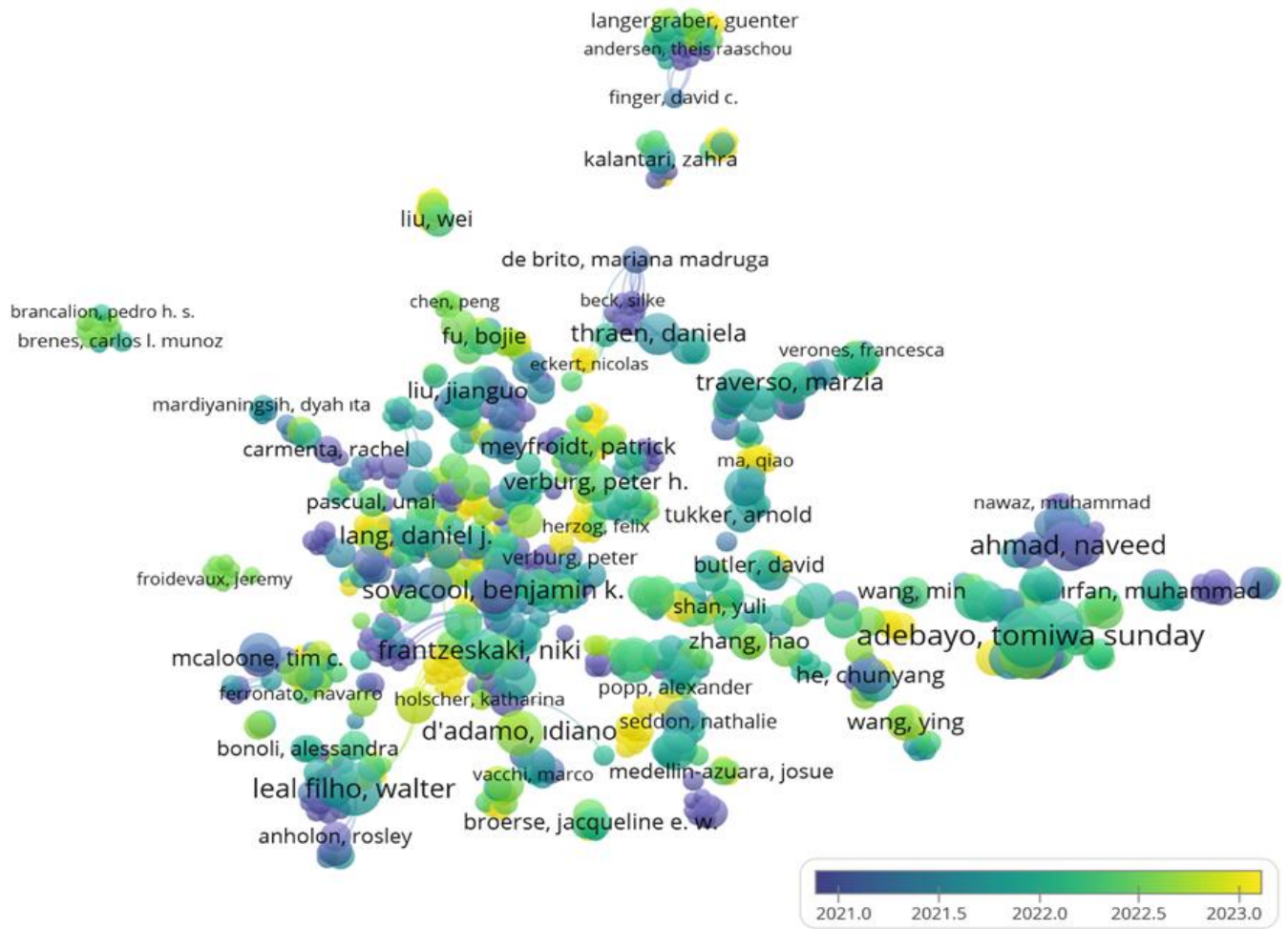
Şekil 1’de verilen anahtar kelime bulutu, sürdürülebilirlik araştırmalarının geniş kapsamını ve çok disiplinli yapısını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Merkezde yer alan “sustainability” (sürdürülebilirlik), bu çalışmaların ana odak noktasıdır ve çevresel, ekonomik, sosyal birçok temayı bir araya getirmektedir. “Sustainable development” (sürdürülebilir kalkınma) ve “environmental sustainability” (çevresel sürdürülebilirlik) gibi kavramlar, doğal kaynakların korunması, ekosistem hizmetleri ve kalkınmanın çevreye duyarlı bir şekilde ele alınması gibi temel unsurları vurgulamaktadır.

Görselde dikkat çeken diğer ana temalar arasında ekonomik büyüme, finansal performans, kentleşme ve yeşil altyapı yer almaktadır. Bu temalar, şehir planlaması

ve doğa tabanlı çözümlerle sürdürülebilir şehirler inşa etme çabalarını göstermektedir. Ayrıca enerji tüketimi, karbon emisyonları, atık yönetimi ve kaynak verimliliği gibi konular, döngüsel ekonomi ve enerji sürdürülebilirliği açısından önemli bir yere sahiptir.

“Sürdürülebilir kalkınma için eğitim” gibi kavramlar ise birey ve toplum düzeyinde farkındalığın artırılmasına yönelik çalışmalara işaret etmektedir. Görselde yer alan bağlantılar, sürdürülebilirlik araştırmalarının çevre, ekonomi, teknoloji, politika ve toplum gibi farklı alanları kapsayan disiplinler arası bir yaklaşımla yürütüldüğünü göstermektedir.

Şekil 2’te incelenen literatür kapsamında yazarlar arası ilişkiler analiz edilmiştir.



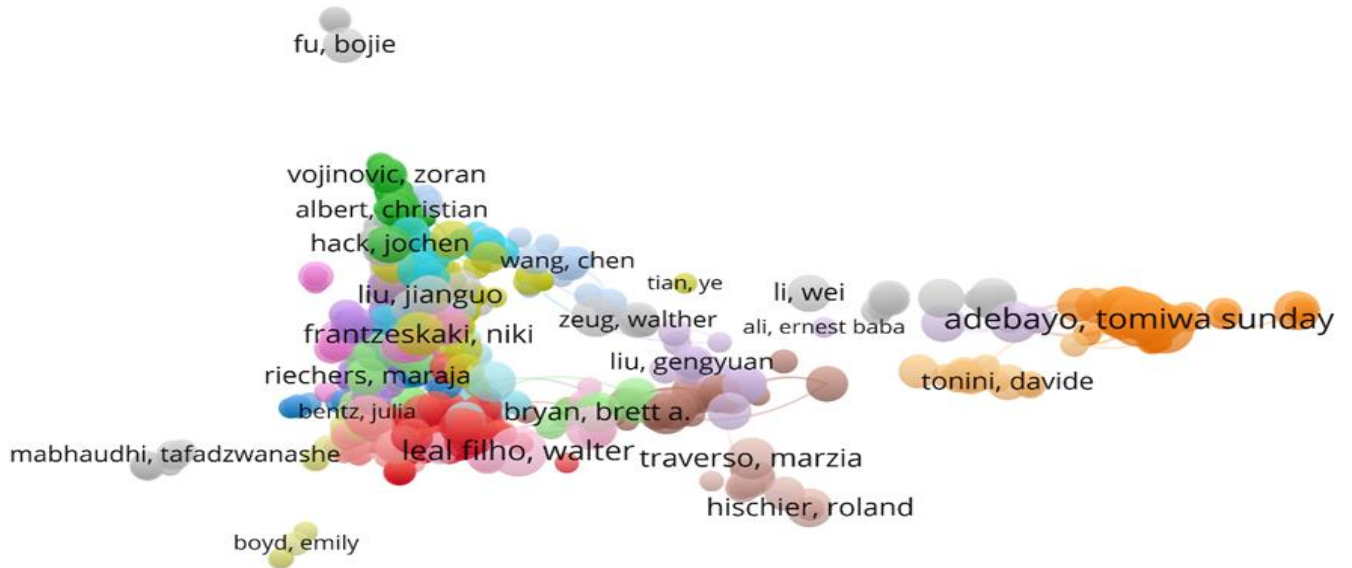
Şekil 2. Yazarlar arası iş birliği ağı (VOSviewer).

Figure 2. Author collaboration network (VOSviewer).

Şekil 2’te, yazarlar arasındaki iş birliği ağlarını etkili bir şekilde ortaya konmaktadır. Ağın merkezinde yer alan Walter Leal Filho gibi yazarlar, geniş bir iş birliği ağına sahip olup çok sayıda ortak çalışmaya katkı sağlamaktadır. Daniel Lang ve Niki Frantzeskaki gibi isimler, yoğun iş birliği ilişkileriyle belirli bir araştırma teması etrafında güçlü bir grup oluştururken, Tomiwa

Sunday Adebayo gibi daha yeni iş birliklerine yönelen yazarlar, yenilikçi ve güncel araştırma alanlarında faaliyet göstermektedir. Sarı renkli düğümler, araştırma faaliyetlerinin son yıllarda hangi alanlarda yoğunlaştığını gösterirken, daha izole düğümler, yeni iş birliği fırsatları için potansiyel taşımaktadır. Bu ağ genel olarak, akademik

dünyada güçlü iş birliklerinin hem bilimsel üretkenlik hem de etki açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir

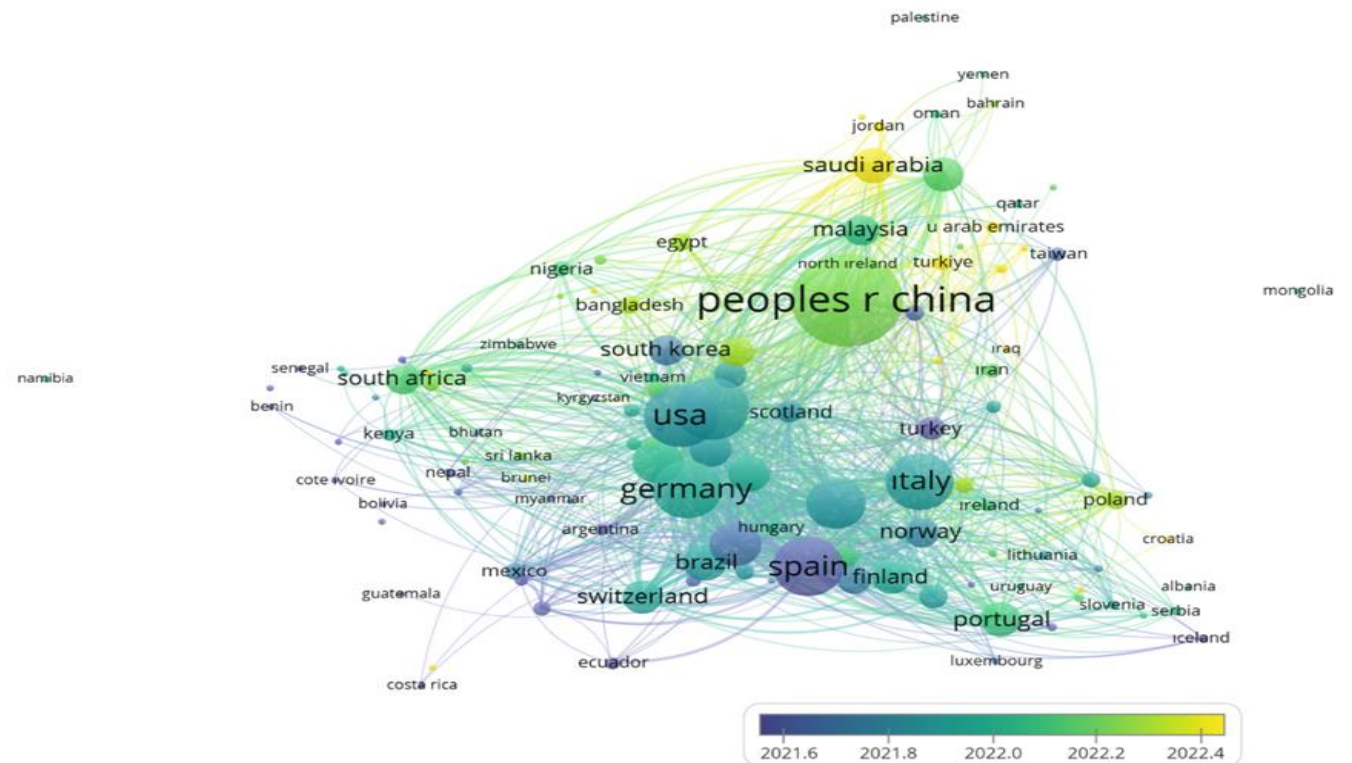


Şekil 3. Yazarlar arasındaki iş birliği ve atıf ilişkileri (VOSviewer).

Figure 3. Collaboration and citation relationships between authors (VOSviewer).

Şekil 3'te, yazarlar arasındaki iş birliği ve atıf ilişkilerini ortaya koymaktadır. Ağın merkezinde yer alan Walter Leal Filho, sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği gibi konularda geniş bir iş birliği ağına sahiptir ve alanında lider bir figürdür. Niki Frantzeskaki ve Daniel Lang gibi yazarlar, sürdürülebilir şehirler ve yeşil dönüşüm temalarında yoğun iş birlikleri ile dikkat çekerken, Tomiwa Sunday Adebayo ve Andrew Adewale Alola ise enerji politikaları ve ekonomik sürdürülebilirlik konularında öne

çıkılmaktadır. Farklı renklerdeki kümeler, yazarların odaklandığı tematik alanları gösterirken, bağlantıların yoğunluğu iş birliğinin gücünü yansıtmaktadır. Analiz sonucu, akademik iş birliklerinin sürdürülebilirlik, enerji geçişi ve kaynak yönetimi gibi alanlardaki araştırma ağlarını ve tematik eğilimleri güçlü bir şekilde vurgulamaktadır. Bu bağlamda, merkezi yazarlar çok disiplinli çalışmalara öncülük ederken, daha izole yazarlar yeni iş birliği fırsatları sunmaktadır.



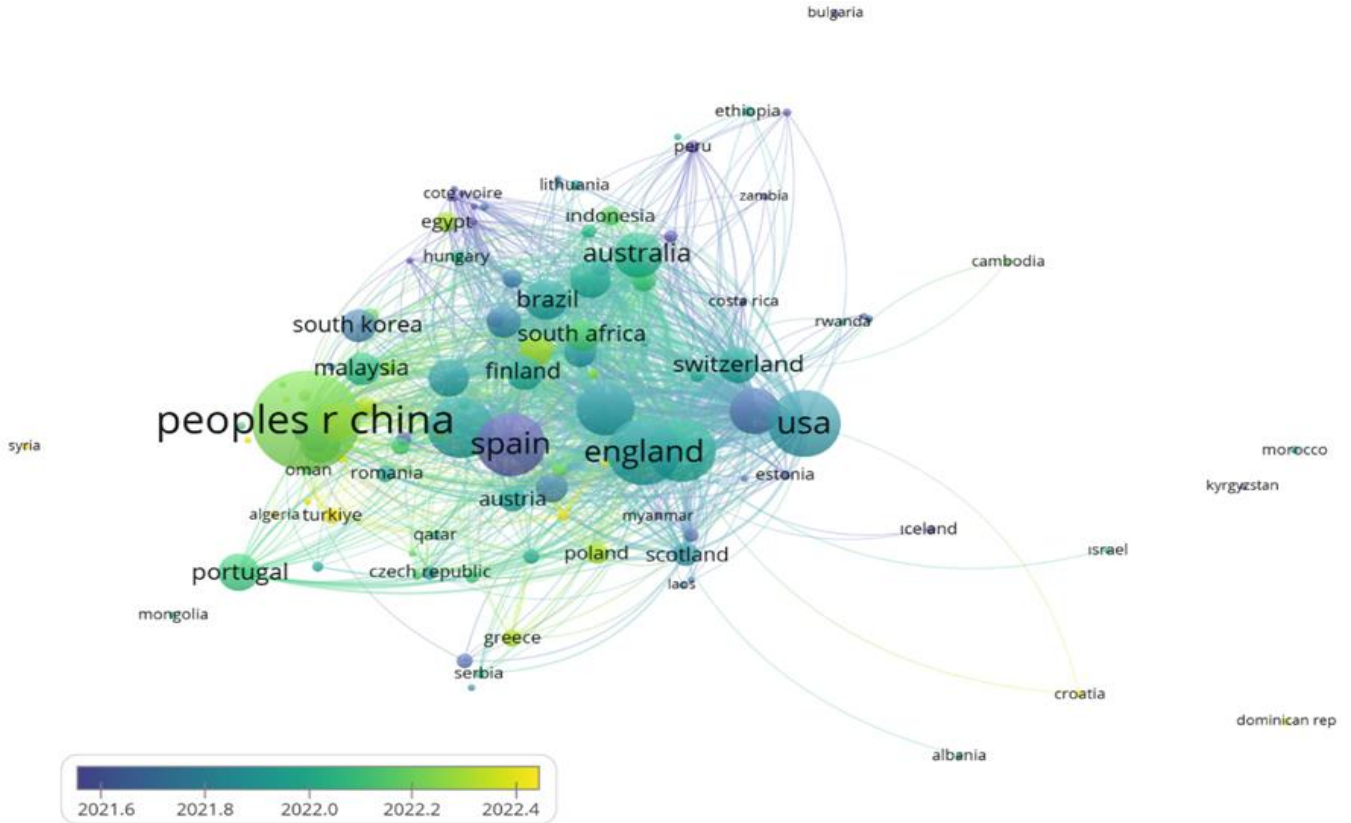
Şekil 4. Ülkeler arasındaki ortak yazarlık ve iş birliği ağları.
Figure 4. Co-authorship and co-operation networks between countries.

Şekil 4, ülkeler arasındaki ortak yazarlık ilişkilerini ve iş birliği ağlarını göstermektedir. Analiz bulgularına göre, Çin (People's R China), ABD, Almanya, İspanya ve İtalya gibi ülkeler, daha büyük düğümlerle temsil edilmiş olup, akademik iş birliklerinde merkezi bir rol oynadıkları belirlenmiştir. Bu ülkeler, geniş çapta uluslararası iş birliklerine katılarak literatüre önemli katkılar sağlamaktadır.

Renk skalası ise, ülkeler arasındaki iş birliğinin zamanla nasıl değiştiğini göstermektedir ve sarıya yakın renkler daha yeni iş birliklerini, mavi-yeşil tonlar ise önceki yıllardaki çalışmaları temsil etmektedir. Örneğin, Çin ve Suudi Arabistan gibi ülkeler son yıllarda daha aktif bir iş birliği ağı oluşturmuş görünmektedir. ABD ve Almanya gibi ülkeler hem geçmişte hem de günümüzde geniş ve dengeli bir ağ yapısıyla öne çıkmaktadır.

Görseldeki yoğun bağlantılar, bu ülkelerin akademik iş birliğinde lider konumda olduğunu ve diğer ülkelerle güçlü ilişkiler kurduğunu yansıtırken, daha izole duran ülkeler, örneğin Namibya, daha sınırlı bir iş birliği potansiyeline sahip olabilir. Ayrıca Türkiye, Avrupa ve Orta Doğu ülkeleriyle sıkı bir iş birliği ağı içerisinde yer almakta ve bölgesel iş birliklerinde önemli bir rol üstlenmektedir.

Genel olarak Şekil 5'ten elde edilen bulgular, akademik çalışmaların uluslararası düzeyde nasıl bir ağ oluşturduğunu, ülkelerin iş birliğindeki etkinliğini ve zamanla gelişen ilişkileri anlamak için değerli bir perspektif sunmaktadır. Bu tür ağlar, bilimsel üretkenlik ve yeniliklerin paylaşımı açısından oldukça kritik öneme sahiptir.



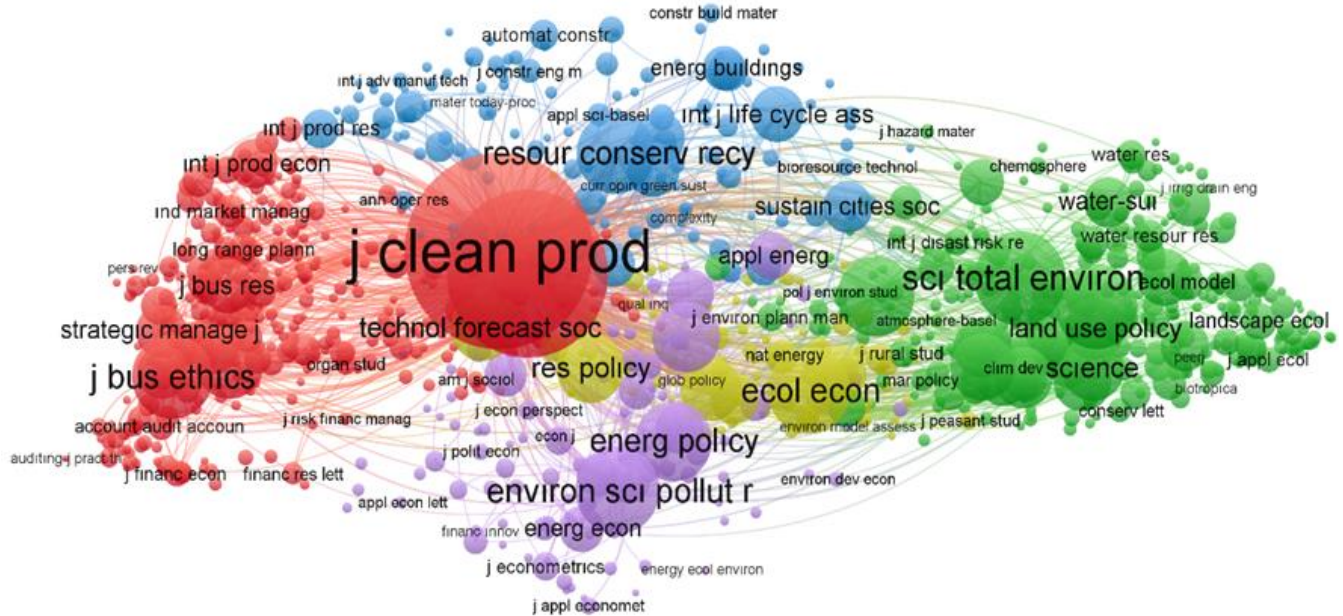
Şekil 5. Ülkeler arasındaki atıf ilişkileri ve akademik iş birliği ağları.
Figure 5. Citation relationships and academic cooperation networks between countries.

Şekil 5, ülkeler arasındaki atıf ilişkilerini ve akademik iş birliği ağlarını göstermektedir. Bu görselden elde edilen bulgulara göre, büyük düğümler, akademik yayınlarda sıklıkla atıf alan ve uluslararası iş birliğinde etkin olan ülkeleri temsil etmektedir. Çin (People's R China), ABD, İngiltere, İspanya ve İsviçre gibi ülkeler, geniş çaplı bağlantılarla ağı merkezi pozisyonunda yer almakta ve uluslararası iş birliklerinde lider konumda olduklarını göstermektedir.

Renk skalası ise, atıf ilişkilerinin zaman içindeki değişimini yansıtmaktadır. Sarıya yakın düğümler daha güncel atıf ilişkilerini gösterirken, mavi ve yeşil tonlar daha eski ilişkileri temsil etmektedir. Çin ve ABD'nin yanı sıra İngiltere ve İspanya gibi ülkeler hem geçmişte hem de günümüzde geniş bir akademik ağ oluşturarak süreklilik göstermektedir. Diğer taraftan, İsrail, Bulgaristan ve Kamboçya gibi ülkeler daha az bağlantıya sahip olup daha sınırlı bir atıf ilişkisi sergilemektedir.

Bağlantıların yoğunluğu, ülkeler arasındaki akademik etkileşimin gücünü ortaya koymaktadır. Örneğin, Çin ve ABD arasında güçlü bağlar bulunurken, Türkiye gibi ülkeler özellikle Avrupa ve Orta Doğu ülkeleriyle iş birliği geliştirmiştir. Genel olarak, Şekil 6

akademik çalışmaların uluslararası ölçekte nasıl bir ağ oluşturduğunu ve ülkelerin bilimsel katkılarının global ölçekteki etkisini gözler önüne sermektedir. Bu tür ilişkiler, bilimsel ilerlemeyi hızlandırmak ve bilgi paylaşımını artırmak açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 6. Birlikte atıf ve atıf yapılan kaynaklar arasındaki ilişkiler (VOSviewer).
Figure 6. Relationships between co-citation and cited sources (VOSviewer).

Şekil 6, birlikte atıf ve atıf yapılan kaynaklar arasındaki ilişkileri göstermektedir. Farklı renklerle gruplandırılmış kümeler, belirli araştırma alanlarındaki akademik dergileri ve bu alanların birbirleriyle olan bağlantılarını temsil etmektedir. Görseldeki büyük düğümler, sıkça atıf alan ve alanında merkezi bir rol oynayan kaynakları işaret etmektedir.

En büyük düğüm olan “Journal of Cleaner Production (J Clean Prod)”, sürdürülebilirlik, temiz üretim ve çevresel yönetim konularında geniş çaplı bir etkiye sahiptir ve birçok farklı disiplinle bağlantılıdır. Bu dergi, kırmızı kümeyle temsil edilen iş ve yönetim alanlarıyla, mor kümeyle temsil edilen enerji politikaları ve çevresel ekonomi çalışmaları arasında bir köprü görevi görmektedir.

“Science of the Total Environment (Sci Total Environ)” dergisi, yeşil kümede yer almakta ve çevre bilimleri, su kaynakları ve ekolojik yönetim konularında önemli bir atıf merkezi olarak öne çıkmaktadır. Bu küme, su yönetimi, arazi kullanımı ve iklim değişikliği ile ilgili çalışmaların yoğunlaştığı bir alanı temsil etmektedir.

Mor küme, enerji politikaları ve çevresel ekonomi çalışmalarına odaklanırken, yeşil küme çevre ve ekoloji temelli konulara daha fazla yönelmektedir. Kırmızı küme ise iş etiği, üretim ekonomisi ve stratejik yönetim gibi konular etrafında şekillenmiştir. Görseldeki bağlantıların

yoğunluğu, bu alanlar arasındaki disiplinler arası iş birliğini ve bilgi akışını göstermektedir.

Genel olarak, Şekil 6, akademik alanlar arasında nasıl bir etkileşim olduğunu ve hangi kaynakların bu ağlarda merkezi bir rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle “Journal of Cleaner Production” ve “Science of the Total Environment” gibi dergiler, farklı disiplinlerden araştırmacıları bir araya getiren kritik yayınlar olarak dikkat çekmektedir. Bu ilişki ağı, sürdürülebilirlik ve çevre yönetimi gibi çok disiplinli konuların akademik dünyadaki önemini ve etkisini vurgulamaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, antik bahçe tasarımlarından modern doğa tabanlı çözümlere uzanan bir perspektifle New European Bauhaus yaklaşımını tamamlayıcı sürdürülebilirlik derslerini değerlendirmektedir. Web of Science veri tabanından elde edilen 9.329 makalenin bibliyometrik analizi, çevresel sürdürülebilirlik ve doğa tabanlı çözümlerin tarihsel bağlamdaki geleneksel pratiklerden modern kentleşme süreçlerine nasıl adapte edilebileceğini göstermektedir. Analiz, çevre bilimleri ve sürdürülebilirlik çalışmalarının disiplinler arası bir yaklaşımla ele alındığını, bu konuların bilimsel literatürdeki merkezi önemini ve küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle uyumunu ortaya koymaktadır.

Antik bahçe tasarımları, estetik, ekolojik denge ve toplumsal değerlerin bir arada sağlandığı bir geçmişten dersler sunmaktadır. YAB yaklaşımı, bu birikimi doğa tabanlı çözümlerle birleştirerek modern kentleşme süreçlerinde işlevsellik ve estetik arasındaki dengeyi yeniden inşa etme potansiyeline sahiptir. Analiz edilen anahtar kelimeler, “sustainability” ve “sustainable development” gibi kavramların çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutları birleştiren çok disiplinli bir çerçeveye sunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle kentleşme ve yeşil altyapı gibi temalar, antik bahçelerin doğal ve kültürel uyum prensiplerinin modern kentlerde yeniden canlandırılması için güçlü bir temel oluşturmaktadır.

YAB’ın kapsayıcılık, estetik ve sürdürülebilirlik ilkeleri, modern doğa tabanlı çözümlerle güçlü bir sinerji yaratmaktadır. Çalışmanın bulguları, çevresel sürdürülebilirlik çalışmalarının %61,63’ünün yeşil bilim ve teknolojiye odaklandığını ve YAB’ın bu alanlarda birleştirici bir çerçeve sunduğunu göstermektedir. İklim değişikliği, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi gibi konular, YAB’ın modern kentlerde ekolojik dönüşümdeki potansiyelini desteklemektedir. Bunun yanı sıra, uzaktan algılama ve mekânsal analizlerin düşük temsil edilmesi, bu teknolojilerin çevresel sorunların çözümünde daha geniş ölçekte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu analiz, geleneksel bahçe tasarımlarının estetik ve işlevselliğe dayalı sürdürülebilirlik ilkelerinin, modern şehirlerde yeşil altyapı ve doğa tabanlı çözümler aracılığıyla nasıl yeniden canlandırılabilirliğine yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır. Doğa tabanlı çözümler, özellikle döngüsel ekonomi, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi gibi alanlarda YAB ilkeleri doğrultusunda sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda, YAB’ın ekosistem hizmetlerini güçlendiren ve topluluk odaklı yaklaşımları teşvik eden bir katalizör işlevi gördüğü değerlendirilmektedir.

Elde edilen bulgular, gelecekteki araştırmalar için kritik yönleri işaret etmektedir. Özellikle uzaktan algılama ve şehir çalışmaları gibi düşük temsil edilen alanlarda daha fazla çalışmanın yapılması, mekânsal planlama ve ekolojik çözüm önerileri geliştirme açısından stratejik katkılar sağlayabilir. Ayrıca, YAB’ın iklim değişikliği uyumu, sürdürülebilir şehirleşme politikaları ve ekosistem temelli çözümler gibi alanlarda daha derinlemesine incelenmesi, modern kentlerin karşılaştığı çevresel ve sosyal zorlukların üstesinden gelmek için yenilikçi yaklaşımlar sunabilir.

Sonuç olarak, YAB yaklaşımı, geleneksel sürdürülebilirlik pratiklerinden ilham alarak modern doğa tabanlı çözümlerle entegre bir kentleşme modeli geliştirme potansiyeli sunmaktadır. Antik bahçelerin estetik, işlevsellik ve çevresel sürdürülebilirlik ilkelerinden alınacak dersler, modern şehirlerin karşı karşıya olduğu

iklim değişikliği, kaynak yönetimi ve toplumsal uyum gibi sorunların çözümünde yol gösterici olabilir. Bu bağlamda, YAB’ın çok disiplinli ve kapsayıcı yaklaşımı, sürdürülebilir ve dirençli kentler inşa etmek için değerli bir rehberlik sunmaktadır.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen bulgular, antik bahçelerin modern DTÇ ve YAB girişimi bağlamında sürdürülebilirlik açısından güçlü bir bilgi kaynağı sunduğunu göstermektedir. Antik Roma ve Pers bahçelerinde kullanılan sulama tekniklerinin günümüzde uygulanan su yönetimi projeleriyle uyumlu olduğu, geçmişten gelen bilgi birikiminin sürdürülebilirlik uygulamalarında nasıl etkili olabileceğini ortaya koymaktadır. Örneğin, Londra’daki Thames Gateway projesinde suyun etkin kullanımı, antik bahçelerin tarihsel birikimiyle benzerlik taşımaktadır. Angelakis et al. (2020) tarafından yapılan çalışmalar, antik Akdeniz bahçelerindeki su yönetim sistemlerinin modern projelere ilham verebileceğini ortaya koyarken, bu çalışmanın bulguları da benzer sonuçları desteklemektedir.

Biyolojik çeşitlilik bağlamında, antik bahçelerin yerel flora ve faunayı koruma işlevi dikkat çekmektedir. Goddard et al. (2010), bu bahçelerin estetik amaçların ötesinde biyolojik çeşitliliği artırma amacı taşıdığını ifade etmiştir. Çalışmamız da bu görüşü doğrularak, yeşil çatı ve duvar gibi günümüz DTÇ uygulamalarının, antik bahçelerden alınan ilhamla geliştirildiğini göstermektedir. Ayrıca, estetik ve işlevsellik açısından, antik bahçelerin geometrik düzenlemeleri ve sembolik anlamlarının modern şehirlerin tasarımında hem görsel hem de işlevsel açıdan ilham kaynağı olduğu görülmüştür. Rosado-García et al. (2021) ve Shi et al. (2024), bu tasarım prensiplerinin insan-doğa uyumunu sağlama noktasında önemli bir model sunduğunu belirtmektedir. Özellikle, antik Çin bahçelerinde görülen doğanın bir yansıması olarak düzenlenen peyzajlar, modern sürdürülebilir tasarımlar için değerli bir örnek teşkil etmektedir.

Antik bahçelerin sosyal işlevleri, toplumsal sürdürülebilirlik açısından da önemli dersler sunmaktadır. Bu bahçeler, geçmişte toplumsal buluşma alanları olarak kullanılmış, sosyal bağları güçlendirmiştir. Modern sürdürülebilirlik projelerinde, toplulukların ihtiyaçlarını dikkate alan ve toplumsal katılımı artıran yaklaşımlar, bu tarihsel birikimden esinlenebilir. Boffi et al. (2021) de sosyal sürdürülebilirliğin önemine vurgu yapmış ve projelerin toplum katılımını teşvik eden bir yapıya sahip olması gerektiğini ifade etmiştir. Bu çalışmanın bulguları, toplulukların projelere dahil edilmesinin YAB girişimi bağlamında sosyal sürdürülebilirliği artırabileceğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, antik bahçelerin su yönetimi, biyolojik çeşitlilik, estetik ve toplumsal işlev gibi unsurları, günümüz projelerine rehberlik edecek zengin bir miras sunmaktadır. Geçmişin bilgi birikimi ile modern teknolojilerin harmanlanması, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada etkili bir yol haritası oluşturabilir. Yerel malzemelerin modern teknolojilerle birleştirilerek enerji verimliliğinin artırılması, estetik ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen çözümler sunabilir. Toplulukların projelere katılımını artırmak, sürdürülebilirlik projelerini daha anlamlı ve uzun ömürlü hale getirebilir. Bu katılımın yanı sıra, doğa tabanlı çözümler hakkında farkındalık yaratacak eğitim programları, bireylerin ve toplulukların sürdürülebilirlik çabalarına katkısını teşvik edebilir. Disiplinler arası iş birliği ise bu projelerin başarısında kilit rol oynamaktadır. Tarihsel bilgi ve modern teknolojiler bir araya getirildiğinde, kültürel mirasın korunması ile çevresel faydalar dengeli bir şekilde sağlanabilir.

DTÇ ve YAB projelerinin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için politika desteği ve finansman mekanizmalarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Yerel yönetimlerin ve uluslararası kuruluşların desteği, bu projelerin sürdürülebilirliğini artırabilir. Ayrıca, uzaktan algılama ve mekânsal analiz gibi teknolojilerin daha etkin kullanımı, projelerin hem planlama hem de uygulama süreçlerini güçlendirebilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, antik bahçe tasarımlarından alınan derslerin farklı coğrafi ve kültürel bağlamlarda nasıl uygulanabileceğini inceleyerek daha geniş kapsamlı bir bilgi birikimi oluşturabilir. Bu çabalar, YAB girişiminin sürdürülebilirlik vizyonunu daha da güçlendirecektir.

KAYNAKLAR

- Altomonte, S., Rutherford, P. & Wilson, R. (2014).** Mapping the Way Forward: Education for Sustainability in Architecture and Urban Design. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, **21**, 143-154. DOI: [10.1002/CSR.1311](https://doi.org/10.1002/CSR.1311)
- Angelakis, A.N., Zaccaria, D., Krasilnikoff, J., Salgot, M., Bazza, M., Roccaro, P., Jimenez, B., Kumar, A., Yinghua, W., Baba, A., Harrison, J.A., Garduno-Jimenez, A. & Fereres, E. (2020).** Irrigation of World Agricultural Lands: Evolution through the Millennia. *Water*, **12**(5), 1285. DOI: [10.3390/w12051285](https://doi.org/10.3390/w12051285)
- Aydın, H. (2023).** Bibliometric Analysis of Doctoral Theses in the Field of "Aquatic Product" in Türkiye (1979-2022). *J. Anatolian Env. And Anim. Sciences*, **8**(3), 255-264. DOI: [10.35229/jaes.1269447](https://doi.org/10.35229/jaes.1269447)
- Barnett, R. (1983).** Mesopotamian Gardens. *Anatolian Studies*, **33**, 137-144.
- Bilić, B. & Šmit, K. (2024).** Evaluation of the New European Bauhaus in Urban Plans by Land Use Occurrence Indicators: A Case Study in Rijeka, Croatia. *Buildings*, **14**(4), 1058. DOI: [10.3390/buildings14041058](https://doi.org/10.3390/buildings14041058)
- Boffi, M., Pola, L., Fumagalli, N., Fermani, E., Senes, G. & Inghilleri, P. (2021).** Nature Experiences of Older People for Active Ageing: An Interdisciplinary Approach to the Co-Design of Community Gardens. *Frontiers in Psychology*, **12**. DOI: [10.3389/fpsyg.2021.702525](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.702525)
- Brownill, S. & Carpenter, J. (2009).** Governance and 'Integrated' Planning: The Case of Sustainable Communities in the Thames Gateway, England. *Urban Studies*, **46**(2), 251-274. DOI: [10.1177/0042098008099354](https://doi.org/10.1177/0042098008099354)
- Cankaya, Z., Suzen, M., Yalciner, A., Kolat, Ç., Zaytsev, A. & Aytore, B. (2016).** A new GIS-based tsunami risk evaluation: MeTHuVA (METU tsunami human vulnerability assessment) at Yenikapı, Istanbul. *Earth, Planets and Space*, **68**, 1-22. DOI: [10.1186/s40623-016-0507-0](https://doi.org/10.1186/s40623-016-0507-0)
- Cannon, C. & Kua, C. (2017).** Botanic gardens should lead the way to create a "Garden Earth" in the Anthropocene. *Plant Diversity*, **39**, 331-337. DOI: [10.1016/j.pld.2017.11.003](https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.11.003)
- Castellar, J., Popartan, L., Pueyo-Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., Corominas, L., Comas, J. & Acuña, V. (2021).** Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *The Science of the total environment*, **779**, 146237. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.146237](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237)
- Chen, D., Jiang, P. & Li, M. (2021).** Assessing potential ecosystem service dynamics driven by urbanization in the Yangtze River Economic Belt, China. *Journal of environmental management*, **292**, 112734. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.112734](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112734)
- Coulson, R. (2014).** Beck, Travis. Principles of ecological landscape design. *Landscape Ecology*, **29**, 759-760. DOI: [10.1007/s10980-014-0001-7](https://doi.org/10.1007/s10980-014-0001-7)
- Davies, C., Chen, W., Sanesi, G. & Laforteza, R. (2021).** The European Union roadmap for implementing nature-based solutions: A review. *Environmental Science & Policy*. DOI: [10.1016/J.ENVSCI.2021.03.018](https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2021.03.018)
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N. & Lim, W.M. (2021).** How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, **133**, 285-296. DOI: [10.1016/j.jbusres.2021.04.070](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070)
- Dorst, H., Jagt, A., Raven, R. & Runhaar, H. (2019).** Urban greening through nature-based solutions - Key characteristics of an emerging concept. *Sustainable Cities and Society*. DOI: [10.1016/j.scs.2019.101620](https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101620)
- Dönmez, İ. (2024).** Sustainability in Educational Research: Mapping the Field with a Bibliometric

- Analysis. *Sustainability*, **16**(13), 5541. DOI: [10.3390/su16135541](https://doi.org/10.3390/su16135541)
- Dunn, C. (2017).** Biological and cultural diversity in the context of botanic garden conservation strategies. *Plant Diversity*, **39**, 396-401. DOI: [10.1016/j.pld.2017.10.003](https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.10.003)
- Duymuş, H. (2024).** Yeni Avrupa Bauhaus Çerçevesinde Kentlerin Yeşil Dönüşümü ve Peyzaj Mimarlığının Rolü. 6. Uluslararası Dirençlilik Kongresi, Sürdürülebilir Güçlü Gelecek, 16-18 Aralık 2024, Türkiye Belediyeler Birliği Ankara, ISBN: 978-605-72775-3-4, 497-508s.
- Engström, R., Howells, M., Mörtberg, U., & Destouni, G. (2018).** Multi-functionality of nature-based and other urban sustainability solutions: New York City study. *Land Degradation & Development*, **29**, 3653-3662. DOI: [10.1002/ldr.3113](https://doi.org/10.1002/ldr.3113)
- Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., de Boissezon, B. & Vandewoestijne, S. (2017).** Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, **159**, 509-518. DOI: [10.1016/j.envres.2017.08.032](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032)
- Filippi, M. (2015).** Remarks on the green retrofitting of historic buildings in Italy. *Energy and Buildings*, **95**, 15-22. DOI: [10.1016/J.ENBUILD.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.11.001)
- Frantzeskaki, N. (2019).** Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy*. DOI: [10.1016/J.ENVSCI.2018.12.033](https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2018.12.033)
- Galluzzi, G., Eyzaguirre, P. & Negri, V. (2010).** Home gardens: neglected hotspots of agro-biodiversity and cultural diversity. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 3635-3654. DOI: [10.1007/s10531-010-9919-5](https://doi.org/10.1007/s10531-010-9919-5)
- Garcia, X., Llausàs, A., Ribas, A. & Saurí, D. (2014).** Watering the garden: preferences for alternative sources in suburban areas of the Mediterranean coast. *Local Environment*, **20**(5), 548-564. DOI: [10.1080/13549839.2013.873397](https://doi.org/10.1080/13549839.2013.873397)
- Goddard, M., Dougill, A. & Benton, T. (2010).** Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, **25**(2), 90-98. DOI: [10.1016/j.tree.2009.07.016](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.07.016)
- Gómez Martín, E., Giordano, R., Pagano, A., van der Keur, P. & Máñez Costa, M. (2020).** Using a system thinking approach to assess the contribution of nature-based solutions to sustainable development goals. *The Science of the Total Environment*, **738**, 139693. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.139693](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139693)
- Holland, L. (2004).** Diversity and connections in community gardens: a contribution to local sustainability. *Local Environment*, **9**, 285-305. DOI: [10.1080/1354983042000219388](https://doi.org/10.1080/1354983042000219388)
- Ivashko, Y., Chang, P., Zueva, P., Ding, Y. & Kuzmenko, T. (2021).** Continuity of traditions and innovation in modern landscape design in China. *Landscape architecture and art*. DOI: [10.22616/j.landarchart.2021.18.10](https://doi.org/10.22616/j.landarchart.2021.18.10)
- Kandeler, R. & Ullrich, W. (2009).** Symbolism of plants: examples from European-Mediterranean culture presented with biology and history of art. *Journal of Experimental Botany*, **60**(3), 715-717. DOI: [10.1093/jxb/erp041](https://doi.org/10.1093/jxb/erp041)
- Keesstra, S., Nunes, J., Novara, A., Finger, D., Avelar, D., Kalantari, Z. & Cerdà, A. (2018).** The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. *The Science of the Total Environment*, **610-611**, 997-1009. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.08.077](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.077)
- Koetsier, T. & Blauwendraat, H. (2004).** The Archimedean Screw-Pump: A Note on Its Invention and the Development of the Theory. In: Ceccarelli, M. (eds) *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*. Springer, Dordrecht. DOI: [10.1007/1-4020-2204-2_15](https://doi.org/10.1007/1-4020-2204-2_15)
- Krauze, K. & Wagner, I. (2019).** From classical water-ecosystem theories to nature-based solutions-Contextualizing nature-based solutions for sustainable city. *The Science of the Total Environment*, **655**, 697-706. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.11.187](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.187)
- Laforteza, R. & Sanesi, G. (2019).** Nature-based solutions: Settling the issue of sustainable urbanization.. *Environmental research*, **172**, 394-398. DOI: [10.1016/j.envres.2018.12.063](https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.063)
- Laforteza, R., Chen, J., Van Den Bosch, C. & Randrup, T. (2018).** Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research*, **165**, 431-441. DOI: [10.1016/j.envres.2017.11.038](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038)
- Liu, H., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Zheng, X., Huang, J., Xu, H., Wang, D. & Wen, Z. (2021).** Impacts of green roofs on water, temperature, and air quality: A bibliometric review. *Building and Environment*, **196**, 107794. DOI: [10.1016/J.BUILDENV.2021.107794](https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107794)
- Lygnerud, K., Fransson, N., Särnbratt, M., Motoasca, E., Neven, T., Vanschoenwinkel, J., Pastor, C., Gabaldón, A. & Belda, A. (2023).** District Energy Viewed from the New Bauhaus Initiative Perspective-Sustainable, Inclusive and Aesthetic Heat. *Buildings*. **13**(12), 2930. DOI: [10.3390/buildings13122930](https://doi.org/10.3390/buildings13122930)
- Mexia, T., Vieira, J., Príncipe, A., Anjos, A., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., Santos-Reis, M., Correia, O., Branquinho, C. & Pinho, P. (2018).** Ecosystem services: Urban parks under a magnifying glass. *Environmental Research*, **160**, 469-478. DOI: [10.1016/j.envres.2017.10.023](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.023)
- Mounce, R., Smith, P. & Brockington, S. (2017).** Ex situ conservation of plant diversity in the world's botanic gardens. *Nature Plants*, **3**, 795-802. DOI: [10.1038/s41477-017-0019-3](https://doi.org/10.1038/s41477-017-0019-3)
- Nowakowski, P. (2024).** Beauty and Utility in Architecture, Interior Design and in the New European Bauhaus Concepts. *Buildings*, **14**(4), 870. DOI: [10.3390/buildings14040870](https://doi.org/10.3390/buildings14040870)

- Ogutu, H., Archi, Y. & Dávid, L. (2023).** Current trends in sustainable organization management: A bibliometric analysis. *Oeconomia Copernicana*. DOI: [10.24136/oc.2023.001](https://doi.org/10.24136/oc.2023.001)
- Oğuztürk, G.E. & Pulatkan, M. (2022).** Üniversite Yerleşkelerinin Bütüncül Planlama Yaklaşımıyla Değerlendirilmesinin Bibliyometrik Analiz ile irdelenmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, **18**(2), 1-13.
- Oğuztürk, T. & Acar, C. (2024).** Bibliyometrik Analiz Yöntemiyle Perennial Garden Kavramının Değerlendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, **20**(1), 308-325.
- Potts, S., Petanidou, T., Roberts, S., O'toole, C., Hulbert, A. & Willmer, P. (2006).** Plant-pollinator biodiversity and pollination services in a complex mediterranean landscape. *Biological Conservation*, **129**, 519-529. DOI: [10.1016/J.BIOCON.2005.11.019](https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2005.11.019)
- Rafferty, N.E. & Cosma, C.T. (2024).** Sustainable nature-based solutions require establishment and maintenance of keystone plant-pollinator interactions. *Journal of Ecology*, **112**, 2432-2441. DOI: [10.1111/1365-2745.14353](https://doi.org/10.1111/1365-2745.14353)
- Rosado-García, M.J., Kubus, R., Argüelles-Bustillo, R. & García-García, M.J. (2021).** A New European Bauhaus for a Culture of Transversality and Sustainability. *Sustainability*, **13**(21), 11844. DOI: [10.3390/su132111844](https://doi.org/10.3390/su132111844)
- Rost, S. (2017).** Water management in Mesopotamia from the sixth till the first millennium B.C. Wiley Interdisciplinary Reviews: *Water*, **4**. DOI: [10.1002/wat2.1230](https://doi.org/10.1002/wat2.1230)
- Rostami, R., Lamit, H., Khoshnava, S., Rostami, R. & Rosley, M. (2015).** Sustainable Cities and the Contribution of Historical Urban Green Spaces: A Case Study of Historical Persian Gardens. *Sustainability*, **7**, 13290-13316. DOI: [10.3390/SU71013290](https://doi.org/10.3390/SU71013290)
- Sadowski, K. (2021).** Implementation of the New European Bauhaus Principles as a Context for Teaching Sustainable Architecture. *Sustainability*, **13**(19), 10715. DOI: [10.3390/su131910715](https://doi.org/10.3390/su131910715)
- Sebastiani, A., Buonocore, E., Franzese, P., Riccio, A., Chianese, E., Nardella, L. & Manes, F. (2021).** Modeling air quality regulation by green infrastructure in a Mediterranean coastal urban area: The removal of PM10 in the Metropolitan City of Naples (Italy). *Ecological Modelling*, **440**, 109383. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2020.109383](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109383)
- Shi, L., Maruthaveeran, S., Yusof, M., Zhao, J. & Liu, R. (2024).** Exploring Herbaceous Plant Biodiversity Design in Chinese Rain Gardens: A Literature Review. *Water*, **16**(11), 1586. DOI: [10.3390/w16111586](https://doi.org/10.3390/w16111586)
- Simms, D. & Dalley, S. (2009).** The Archimedean Screw. *Technology and Culture*, **50**, 730-735. DOI: [10.1353/TECH.0.0328](https://doi.org/10.1353/TECH.0.0328)
- Sowińska-Świerkosz, B., Michalik-Śniezek, M. & Bieske-Matejak, A. (2021).** Can Allotment Gardens (AGs) Be Considered an Example of Nature-Based Solutions (NBS) Based on the Use of Historical Green Infrastructure? *Sustainability*, **13**(2), 835. DOI: [10.3390/su13020835](https://doi.org/10.3390/su13020835)
- Tian, L. (2022).** Analysis of the Artistic Effect of Garden Plant Landscaping in Urban Greening. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. DOI: [10.1155/2022/2430067](https://doi.org/10.1155/2022/2430067)
- Torchia, D., Fresta, J., Corazza, L. & Certomà, C. (2023).** New European Bauhaus for a Circular Economy and Waste Management: The Lived Experience of a Community Container Garden at the University of Turin. *Sustainability*, **15**(2), 914. DOI: [10.3390/su15020914](https://doi.org/10.3390/su15020914)
- Whalley, J. (1988).** Water in the landscape. *Landscape and Urban Planning*, **16**, 145-162. DOI: [10.1016/0169-2046\(88\)90040-0](https://doi.org/10.1016/0169-2046(88)90040-0)
- VOSviewer versiyon 1.6.20, (2023).**
- Zupic, I., & Čater, T. (2015).** Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, **18**(3), 429-472. DOI: [10.1177/1094428114562629](https://doi.org/10.1177/1094428114562629)

Deniz Marulu (*Ulva lactuca* L. 1753)'nın Antimikrobiyal ve Antioksidan Özellikleri

Aybike TÜRKMEN^{1*} Selim SEKKİN²

^{1,2}Adnan Menderes Üniversitesi, Veterinerlik Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, 09016 Aydın, Türkiye

Kabul Tarihi: 30.11.2024

Kabul Tarihi: 06.02.2025

Basım Tarihi: 25.03.2025

Atf yapmak için: Türkmen, A. & Sekkin, S. (2024). Deniz marulu (*Ulva lactuca* L. 1753)'nın antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 109-114. <https://doi.org/10.35229/jaes.1593761>

How to cite: Türkmen, A. & Sekkin, S. (2024). Antimicrobial and antioxidant properties of Sea lettuce (*Ulva lactuca* L. 1753). *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 109-114. <https://doi.org/10.35229/jaes.1593761>

* <https://orcid.org/0000-0002-4119-7490>
 <https://orcid.org/0000-0002-3795-5375>

***Sorumlu yazar:**

Aybike TÜRKMEN
Adnan Menderes Üniversitesi, Veterinerlik
Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim
Dalı, 09016 Aydın, Türkiye
✉: aybiketurkmen95@gmail.com

Öz: Makroalgler çok hücreli ökaryotik organizmalardır ve deniz ekosisteminin çok önemli bir bölümünü oluşturmakta olup, doğada en hızlı büyüme gösteren bitkisel organizmalardır. Diğer taraftan gıda, hayvan yemi, ilaç ve kozmetik gibi sektörlerde kullanılabilen, biyolojik aktif bileşikler üretme yeteneğindeki organizmalardır. *U. lactuca* vitaminler, flavonoidler, tanenler, fenoller, polisakkaritler, saponinler ve polisakkaritler içerir ve ayrıca antiinflamatuvar ve antikanser etkilere sahiptir. Günümüzde mikroorganizmaların neden olduğu hastalıklarla mücadelede antibiyotikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak pek çok yan etkisi olması, bakterilerin bu antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesine neden olması ve aynı zamanda mali açıdan külfetli olması nedeniyle bilim insanları, toksik olarak etkisiz olan ya da çok az toksik etkiye sahip olan, aynı zamanda maliyet açısından ucuz olan materyallerden antibiyotik elde etmeye yönelmişlerdir. Günümüzde bu antibiyotigi elde etmek için kullanılan alternatif kaynaklar tıbbi kökenli bitkiler, makrofunguslar ve alglerdir. Bu derlemede makroalgler ve *U. lactuca*'nın antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Ulva lactuca*, antimikrobiyal, antioksidan, deniz marulu, makroalg.

Antimicrobial And Antioxidant Properties of Sea Lettuce (*Ulva lactuca* L. 1753)

Abstract: Macro algae, more commonly known as algae, are multicellular eukaryotic organisms and form a very important part of the marine ecosystem. Seaweeds are the fastest-growing plant organisms in nature. They are living things that can find application in sectors such as medicine, cosmetics, food and animal feed and have the ability to produce biologically active compounds. *U. lactuca* contains vitamins, flavonoids, tannins, phenols, polysaccharides, saponins, and polysaccharides and have anti-inflammatory and anticancer effects. Nowadays, antibiotics are widely used to fight diseases caused by microorganisms. However, because they have many side effects, cause bacteria to develop resistance to these antibiotics, and are also financially burdensome, scientists have directed scientists to obtain antibiotics from financially cheap sources that have no or negligible toxic effects. Today, the alternative sources to obtain this antibiotic are plants of medicinal origin, macrofungi and algae. In this review, the antimicrobial and antioxidant characteristics of macroalgae and *U. lactuca* were examined.

Keywords: *Ulva lactuca*, antimicrobial, antioxidant, sea lettuce, macroalgae.

GİRİŞ

Mevcut su kaynaklarının azalmasıyla birlikte okyanuslar; karasal ürünlerle karşılaştırıldığında deniz ürünleri, değerli biyokütle üretimi için cazip alternatifler haline geldi. Kontrollü ve sürdürülebilir yetiştirme sistemleri altında yetiştirilen makroalgler, muhtemelen pazar geliştirme ihtiyaçlarını karşılamak ve biyokütle sağlamak için gelecekte tercih edilen bir yöntem olacaktır

(Dominguez ve Loret, 2019). Deniz makroalg ekstraktlarının birçok yararlı etkisinin içerdikleri kimyasal bileşenlerden (florotanninler, terpenoidler, yağ asitleri, steroidler, amino asitler, fenolik bileşikler, alkanlar ve halojenlenmiş ketonlar gibi) kaynaklandığı bildirilmektedir. Kırmızı, kahverengi ve yeşil makroalg ekstraktlarının bakteri, küf ve mayalara karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bildirilmektedir (Gümüş vd., 2018). Makroalglerin sekonder metabolitleri

veya biyoaktif bileşenleri ile antimikrobiyal özellikleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde çoğunluğunun antioksidan aktivite ile ilgili olduğu veya çalışmanın bir kısmının antioksidan aktivite ölçümlerini içerdiği görülmektedir (Çelenk, 2014).

U. lactuca, dünya çapında gözlemlenen birçok gelgit olayına karışan yeşil bir makroalgdir. *Ulva* çoğalmaları çoğunlukla sığ sularda meydana gelir ve bu alglerin ayrışması tehlikeli buharlar üretebilir. Biyoaktif bileşikler, gıda veya biyoyakıt gibi ticari açıdan değerli bileşenler içerir. *U. lactuca*, Ulvan adı verilen çok önemli bir sülfatlanmış heteropolisakkarit içerir. Bu heteropolisakkarit antiviral, antitümör, antikoagülan, antilipidik, hepatoprotektif, immün sistemi uyarıcı, antidepresan ve antianksiyolitik aktivitelere sahiptir. Farmasötik uygulamalarda giderek daha fazla kullanılmaktadır (Dominguez ve Loret, 2019). Bu çalışmada yeşil bir deniz makroalgı olan *U. lactuca*'nın antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri derlenmiştir.

Makroalgler: Makroalgler çok hücreli ökaryotik organizmalardır. Deniz ekosisteminin çok önemli bir bölümünü oluşturmakta olup, doğada en hızlı büyüme gösteren bitkisel organizmalarıdır. Diğer taraftan gıda, hayvan yemi, ilaç ve kozmetik gibi sektörlerde kullanılabilen, biyolojik aktif bileşikler üretme yeteneğindeki organizmalardır (Öztürk ve Hamzaçebi, 2019). Makroalgler genel olarak Rhodophyta, Ochrophyta ve Chlorophyta adı verilen üç farklı filum altında toplanır. Taksonomik sınıflandırmalar genellikle içerdikleri fotosentetik pigmentlere göre yapılmaktadır (Torun ve Konuklugil, 2020). Makroalgler, çok çeşitli zorlu ortamlarda hayatta kalabilmek için polisakkaritler, çoklu doymamış yağ asitleri ve florotanninler gibi çeşitli doğal biyoaktif bileşikler ve metabolitler üretir (Wang vd., 2017).

Proteinler, bitki büyüme destekleyicileri, mineraller (mikro ve makro elementler) ve karbonhidratlar alglerdeki başlıca biyokimyasal bileşikler arasında yer alır. Karbonhidratlar agar, fukoidan, aljinat, selüloz, ulvan, karragenan, laminarin vb., gibi polisakkaritler alglerde bulunmaktadır (Sudhakar vd., 2019). Polisakkaritler hipolipidemik, antioksidan ve immünomodülatör aktiviteler gibi pek çok makroalg fonksiyonuna destek sağlar (Torun ve Konuklugil, 2020). Doğal ve çevre dostu özelliklerinden dolayı makroalgler günümüzde tıpta, gıdada, filtrasyonda, endüstriyel kullanımda ve gübrede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı önemli farmakolojik etkilerinin yanı sıra makroalglerin, antiviral, antifungal, antikanser, antiinflamatuvar, antibakteriyel ve antimikrobiyal etkileri de araştırılmaktadır (Albayati, 2020; Chen vd., 2018).

Yenilebilir bir yeşil makroalg olan *Ulva* (Chlorophyta) cinsinin türleri, sağlığı geliştiren bir dizi biyoaktif bileşiğe ev sahipliği yapan deniz yosunlarıdır.

Ulva, mide-bağırsak sağlığını destekleyen ve kronik hastalıkların görülme sıklığının azalmasıyla bağlantılı olan diyet lifi bakımından zengindir. *Ulva*'nın ana aktif bileşeni, immünomodülatör, antiviral, antioksidan, antimikrobiyal, antihiperlipidemik ve antikanser gibi biyolojik aktivitelere sahip jelleştirici sülfatlanmış bir polisakarit ve çözünür bir lif olan ulvan'dır. Ulvan ayrıca, hem bitki hem de hayvan sistemlerinde hücresel sinyalleşme süreçlerini modüle etme kapasitesine sahiptir ve bu da üretkenlik ve sağlık üzerinde faydalı etkilere yol açar (Kidgell vd., 2019).

Deniz Yosunlarının Antimikrobiyal Aktivitesi:

Antibiyotikler bugünlerde yaygın olarak mikroorganizmaların neden olduğu hastalıklarla mücadelede kullanılmaktadır. Diğer taraftan, çok sayıda yan etkisi olduğundan, bakterilerin bu antibiyotiklere karşı direnç geliştirmesine neden olması ve aynı zamanda mali açıdan külfetli olması nedeniyle bilim insanları, toksik olarak etkisiz olan ya da çok az toksik etkiye sahip olan ve aynı zamanda maliyet açısından ucuz olan materyallerden antibiyotik elde etmeye yönelmişlerdir. Günümüzde bu antibiyotigi elde etmek için kullanılan alternatif kaynaklar tıbbi kökenli bitkiler, makrofunguslar ve alglardır (Şahin ve Akyurt, 2012). Freile-Pelegrin ve Morales (2004) tarafından yapılan çalışmada, toplanan farklı deniz yosunlarından kloroform-metanol ve etanol ekstraktlarının patojen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivitesi incelenmiştir. Çalışılan 21 türden üçü hariç diğerleri antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Gram-negatif bakterilere karşı çok düşük antimikrobiyal aktivite gösteren bu türlerin tamamı Gram-pozitif bakterilere (*Micrococcus luteus*, *Streptococcus faecalis* ve *Bacillus subtilis*) karşı etkili olmuştur. *B. subtilis*'e karşı türlerin çoğu aktivite göstermiştir (%94 kloroform-metanol ekstraktları ve %89 etanol ekstraktları). *Ceramium nitens*'in çalışılan türler arasında en yüksek aktiviteye sahip olduğu görülmüştür.

Kolanjinathan ve Stella (2009) tarafından yapılan çalışmada *Hydroclathres* sp., *Calorpha peltada* ve *Gracilaria edulis* ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesi altı bakteriyel patojene karşı araştırılmıştır. *Enterobacter aerogenes* ve *Bacillus cereus* dışındaki tüm test organizmalarının büyümesi *G. edulis* ekstraktı tarafından inhibe edilmiştir. *S. faecalis*, *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli*'ye karşı *Caulerpa peltada* özütü aktivite göstermiştir. Altı test mikroorganizmasından yalnızca *Pseudomonas aeruginosa*'nın büyümesi *Hydroclathres* sp. ekstraktı tarafından engellenmiştir. Tüm deniz yosunu ekstraktlarına karşı *E. aerogenes* ve *B. cereus*'ün dirençli olduğu bulunmuştur.

Ege Denizi'nde yürütülen bir çalışmada, 3 Gram-negatif (*E. coli*, *E. aerogenes*, *E. coli* O157:H7) ve 3-pozitif (*Enterococcus faecalis*, *M. luteus* ve *S. aureus*) bakteri üzerinde, altı deniz yosununa ait metanol

ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesi araştırılmıştır (Taşkın vd., 2007). *Corallina officinalis* hariç çalışılan alglerin tamamı *S. aureus*'a karşı aktivite göstermiştir. Ancak *C. officinalis*, *E. aerogenes*'e karşı en yüksek aktivite gösteren tür olmuştur. Aktivite bakımından *Cystoseira barbata*'nın en geniş spektrumlu tür olduğu gözlenmiştir. Çalışılan mikroorganizmalara karşı en düşük aktivite gösteren türler *Dictyota dichotoma* ve *Halopteris filicina* olarak gözlemlenmiştir.

Yine yapılan bir başka çalışmada, in vitro koşullarda *E. faecalis*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. aeruginosa*, *E. coli* ve *Candida* sp., türleri üzerinde, 11 farklı deniz yosunundan elde edilen metanol, aseton, dietil eter ve etanol ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesi incelenmiştir. Tüm test mikroorganizmalarına karşı *Enteromorpha linza*, *Ectocarpus siliculosus*, *Ulva rigida*, *Galanthus gracilis* ve *Cystoseira mediterranea* türlerine ait ekstraktların tamamı etkinlik göstermiştir (Tüney vd., 2006).

Deniz Yosunlarında Antioksidan Aktivite:

Antioksidanlar iki ana tipe ayrılır: enzimatik ve enzimatik olmayan. Enzimatik olmayan antioksidanlar, E ve C vitaminleri gibi diyet maddelerini, çinko ve selenyum gibi mineralleri ve ayrıca glutasyon, ubikinol ve ürik asit gibi endojen molekülleri kapsar. Öte yandan enzimatik antioksidanlar arasında süperoksit dismutaz (SOD), glutasyon peroksidaz (GPO) ve katalaz gibi önemli parametreler bulunur. Tüm endojen ve diyetel antioksidanların kolektif aktivitesi genellikle toplam antioksidan kapasite (TAC) olarak adlandırılır ve vücudun antioksidan durumunun genel bir ölçümünü sağlar (Rezaie vd., 2007). Son yıllarda sentetik antioksidanlara yönelik güvenlik ve sağlık kaygıları gündeme gelmiştir. Bu nedenle doğal antioksidanlar ilgi çekmiş ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Antioksidanlar, hedef moleküldeki oksidatif hasarı ortadan kaldıran, önleyen veya geciktiren herhangi bir madde olarak tanımlanmaktadır (Tziveleka vd., 2021). Dünya yüzeyinin yaklaşık %70'ini kaplayan ve çok sayıda makro ve mikroorganizmaya ev sahipliği yapan okyanuslar, potansiyel terapötik ajanların yenilenebilir bir kaynağını oluşturur. Çeşitli ve antagonistik deniz ortamı, çok çeşitli biyoaktif bileşiklerin üretimini tetikler. Deniz organizmaları, yüksek tuzluluk, düşük veya yüksek sıcaklık, yüksek basınç, düşük besin mevcudiyeti ve düşük veya yüksek güneş ışığına maruz kalma gibi aşırı çevresel koşullara dikkat çekici bir şekilde adapte olmuşlardır ve bu nedenle, olağanüstü bir biyoaktif bileşik rezervuarı sağlayabilirler (Kim ve Mendis, 2006). Karasal organizmalarda benzeri görülmemiştir (Ahmad vd., 2019). Deniz yosunları, genellikle önemli biyolojik aktiviteler sergileyen, yapısal olarak çeşitli doğal ürünlerin zengin bir kaynağını oluşturur. Algler, serbest radikallerin üretimini destekleyen koşullar olan güneş ışığına ve yüksek oksijen

konsantrasyonlarına yoğun maruz kalan ekosistemlerde büyümektedir. Bununla birlikte, yapısal yağ asidi membranlarında oksidatif hasarın olmaması, bu organizmaların antioksidan aktiviteye sahip bileşikler sentezlediğini düşündürmektedir (Barzkar vd., 2019; Tziveleka vd., 2021).

Deniz makroalglerinde β -karoten, lutein, zeaksantin, astaksantin, neoksantin, fukoksantin ve violaksantin'in karşılaşılan başlıca karotenoidler arasında olduğu bilinmektedir. Örneğin; astaksantin, singlet oksijen söndürme, radikal temizleme, lipid peroksidasyonunun inhibisyonu ve oksidatif stres ile ilgili gen ekspresyonunun düzenlenmesi gibi çeşitli mekanizmalar yoluyla oksidatif hasara karşı bir koruma görevi görür. Astaksantin'in tam etki mekanizmaları, nörolojik hastalıklara karşı koruyucu etkilerin yanı sıra cilt hastalıklarının tedavisinde ve önlenmesinde kanıtlandığından, kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bir başka örnek olarak genellikle kahverengi alglerden izole edilen fukoksantin verilebilir. Fukoksantin antioksidan aktivitesine tekli oksijen söndürme, radikal temizleme ve lipid peroksidasyonunun inhibisyonu gibi çeşitli mekanizmalarla aracılık eder. Fukoksantin'in, vasküler endotelial büyüme faktörünün aşırı ekspresyonunu inhibe etmede, yaşlanmaya direnmede, fagositik fonksiyonu iyileştirmede ve retina pigment epitel hücrelerinde hücre içi ROS'u (Reaktif oksijen türleri) temizlemede, retinayı ışık kaynaklı hasara karşı korumada karotenoidler arasında en iyi in vitro biyoaktiviteleri uyguladığı gösterilmiştir (Tziveleka vd., 2021).

U. lactuca: *U. lactuca*, Linnaeus (1753) tarafından on yedinci yüzyılda Baltık Denizi'nde tanımlanan, Chlorophyta filumuna ait bir makroalgdir; Kendi kendine bağlanan, sapsız veya serbest yüzen bir makroalgdir. Tallusu yaprak şeklindedir. 1-2 hücre tabakasından, içi boş tüp veya silindirikten oluşur. Tallusu oluşturan hücrelerin tek bir çekirdeği ve fincan şeklinde kloroplastları vardır. A vitamini içerir. Akdeniz ülkeleri ve Asya'da salata olarak kullanılır (Çebi vd., 2016; Dominguez ve Loret, 2019). *U. lactuca*, esansiyel amino asitlerin kaynağı olabilir. Tarım arazilerine serpilerek veya kompostlaştırılarak bütün olarak kullanılır. *U. lactuca* yüksek düzeyde protein ve demir içerir. Ayrıca yağ oranı düşük olan değerli bir besindir (Dominguez ve Loret, 2019). UV ışığı ve tuzlu su ile doğrudan temas halinde, zorlu bir ortamda yaşar. Vitaminler, flavonoidler, tanenler, fenoller, polisakkaritler, saponinler ve polisakkaritler içerir. *U. lactuca*'nın ayrıca antiinflamatuvar ve antikanser etkileri vardır (Chung vd., 2021).

U. lactuca'nın Antimikrobiyal Özellikleri: Yosunlardan izole edilen ve antibakteriyel, antifungal, antiviral ve antikanser aktiviteye sahip maddelerin farmakoterapide ve ilaç yapımında uzun yıllardır

kullanıldığı bildirilmektedir. Gıda patojenlerine karşı antibakteriyal aktivitesinin değerlendirilmesi amacıyla hekzan, kloroform, etanol, metanol, aseton ve distile su gibi farklı polariteye sahip çözücülerle ekstrakte edilen *U. lactuca* üzerinde yapılan çalışmada, farklı çözücüler kullanılması ekstraktların antimikrobiyal etkisi bakımından farklılıklar göstermiştir. *S. aureus*'a karşı etanol ekstraktında en yüksek antibakteriyal aktivite (26 mm), *V. parahaemolyticus*'a karşı metanol ekstraktında ise en düşük antibakteriyal aktivite (7 mm) ise gözlenmiştir. Gram-pozitif bakterilere özellikle *S. aureus*'a etanol ve metanol ekstraktları spesifik görünmektedir. *S. enteritidis* dışında test edilen diğer bakterilere karşı ampisilin (AMP) ile aynı düzeyde antibakteriyal aktivite gösteren *U. lactuca* etanol ekstraktı olmuştur. *V. parahaemolyticus* ve *A. hydrophila*'ya karşı tespit edilen inhibisyon zonunun AMP'den daha yüksek olduğu metanol ekstraktıyla yürütülen denemelerde görülmüştür. Neticede, çözücülerin antibakteriyal etkilerinin farklı olduğu, *A. hydrophila*'da kloroform, metanol ve etanol, *E. coli*'de kloroform ve etanol, *S. enteritis*'de hekzan, *S. aureus* ve *B. cereus*'da etanol ekstraktlarının etkili olduğu görülmüştür. Çalışılan bakteri türlerine karşı aseton, su ve DMSO (Dimetil Sülfoksit) ekstraktlarının ise etkili olmadığı görülmüştür. Gram-pozitif bakteriler, Gram-negatif bakterilere kıyasla *U. lactuca* ekstrelerine karşı daha duyarlı olmuştur (Öztürk ve Hamzaçebi, 2019).

U. lactuca'nın etil asetat, kloroform ve metanol ekstraktlarının etkisi ile oluşan zon çapları üzerine yapılan çalışmada, *P. aeruginosa*'nın üreme ortamında metanol ekstraktı 14,25 mm'lik zon çapı oluşturmuştur. Diğer taraftan, *E. coli*, *Staphylococcus epidermidis* B-4268 ve *Acinetobacter spp.*, bakteri kültürleri üzerine daha az etkili olduğu gözlenmiştir. Yine daha düşük antibakteriyel aktiviteler, *S. aureus* 29213 ve *B. subtilis* B-354 bakteri kültürlerine karşı olmuştur. *Candida*'ya karşı metanol ekstraktının hiçbir antifungal etkisi görülmemiştir. Sonuç itibariyle *P. Aeruginosa* üzerine *U. lactuca*'nın metanol ekstraktının diğer test mikroorganizmalarına göre daha etkili olduğu görülmüştür (Şahin ve Akyurt, 2012).

Aynı çalışmada, *E. coli*'nin üreme ortamında kloroform ekstraktı 17,00 mm'lik zon çapı oluşturmuştur. *S. epidermidis* B-4268, *Acinetobacter spp.*, ve *P. aeruginosa* bakteri kültürleri üzerine daha az etkili olduğu gözlenmiştir. *Staphylococcus aureus* 29213 ve *B. subtilis* B-354 bakteri kültürlerine karşı ise oldukça düşük antibakteriyel aktiviteye göstermiştir. *Candida*'ya karşı Kloroform ekstraktının oldukça düşük bir antifungal aktivite gösterdiği saptanmamıştır. Buna göre *E. coli* üzerine, *U. lactuca*'nın kloroform ekstraktının diğer test mikroorganizmalarına göre daha etkili olduğunu göstermiştir. *P. aeruginosa*'nın üreme ortamında etil asetat ekstraktı 14,25 mm'lik zon çapı oluşturmuştur. *S.*

epidermidis B-4268, *Escheriachia coli* ve *Acinetobacter spp.*, bakteri kültürleri üzerine daha az etkili olduğu gözlenmiştir. Daha düşük antibakteriyel aktiviteler *B. subtilis* B-354 ve *S. aureus* 29213 bakteri kültürlerine karşı gözlenmiştir. *Candida*'ya karşı etil asetat ekstraktının oldukça düşük bir antifungal aktivite gösterdiği gözlenmiştir. Elde edilen veriler *P. aeruginosa* üzerine *U. lactuca*'nın etil asetat ekstraktının diğer test mikroorganizmalarına göre daha etkili olduğunu göstermiştir.

Yapılan bir çalışmada, *Ulva* ekstraktının *E. coli* üzerinde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, yalnızca birkaç alg türünün *E. coli*'ye karşı zayıf inhibitör aktivite gösterdiğini belirten başka çalışmalarla tutarlıdır. Bununla birlikte bir çalışma, *U. lactuca*'nın metanolik ekstraktlarının 4 Gram-negatif ve 2 Gram-pozitif izolatlarla karşı antibakteriyel aktivitesinin, *K. pneumonia*, *S. aureus*, *P. vulgaris*, *B. subtilis* ve *P. aeruginosa* için en inhibitör etkiyi sergilediğini göstermiştir (Kherraz-Chemlal vd., 2024).

***U. lactuca*'nın Antioksidan Özellikleri:** Biyolojik sistemlerde hücrelerin önemli sinyal yollarında oksidatif hasara karşı koruma görevi üstlenen antioksidanlar, alglerden de elde edilmektedir (Çebi vd., 2016). *U. lactuca* tanen, steroid, saponin, antrakınon, alkaloid ve flavonoid gibi antibakteriyal potansiyele sahip biyoaktif bileşikler içermektedir. Aynı şekilde, bileşiminde bulunan fenolikler, terpenoidler, laktonlar, sterol, sülfatlanmış polisakaritler ve yağ asitlerinin antioksidan aktiviteden sorumlu olduğu bildirilmiştir. Bunların antioksidan aktivitesi temel olarak tekli ve üçlü oksijeni söndürme ve azaltma gücüne, şelatlama kabiliyetine, süperoksit ve hidroksil radikallerine karşı temizleme aktivitesine bağlanmaktadır (Öztürk ve Hamzaçebi, 2019). Alg ekstrelerinde bulunan polifenollerin antioksidan etki gösterdiği belirtilmiştir. Yapılan birçok araştırmayla *Ulva* türlerinin serbest radikal kovucu etkiye sahip antioksidan bileşenlerce zengin olduğu ortaya koyulmuştur. Yapılan bir araştırmada *U. lactuca*'nın içerdiği total fenolik bileşenler sayesinde bitkinin metanol ekstresinin serbest radikal uzaklaştırıcı etki gösterdiği ve antioksidan aktiviteye sahip olduğu tespit edilmiştir (Çebi vd., 2016).

Yine bir diğer çalışmada, fenolik bileşenlerce zenginleştirilmiş ekstrakt elde etmek için *U. lactuca* örneğindeki lipidler enzimatik hidroliz öncesi uzaklaştırılmıştır (Tong vd., 2020). Ekstraksiyon işlemi sırasında enzimlerin uygulanmasının ikincil bitki metabolitlerinin salınımını artırabileceği ve ekstraktların biyoaktif özelliklerini koruyabileceği bildirilmiştir. Enzimatik ekstraksiyon ayrıca deniz yosunlarından biyoaktif bileşiklerin ekstrakte edilebilirliğini de artırır. Hücre duvarını parçalayan enzimler, hücre duvarını bozmaya veya zayıflatmaya yardımcı olarak, karmaşık iç

depolama materyallerini parçalayarak hücre içi biyoaktif bileşiklerin salınmasına neden olur. Bu çalışmada, *U. lactuca* özütünün TPC (Total Fenolik İçerik) değeri 7,72 mg gallik asit eşdeğeri/g özüttür. Burada elde edilen *U. lactuca* özütü, *U. lactuca* ve metanol-su (4:1) özütleri üzerine yapılan önceki çalışmalarda bildirilenlere kıyasla nispeten daha düşük bir TPC değerine sahipti. Çıkarma yöntemlerindeki farklılıklar, farklı çalışmalar arasındaki TPC değerlerindeki farklılıkları kısmen açıklayabilir. Deniz yosunu ekstraktlarının TPC'si ile antioksidan aktiviteleri arasındaki pozitif ve doğrudan korelasyon belgelenmiştir. Bu nedenle, daha sonra çeşitli in vitro antioksidan biyo-tahlil sistemlerini kullanarak *U. lactuca* özütünün in vitro antioksidan etkilerini, özellikle de *U. lactuca* özütünün DPPH, hidroksil ve süperoksit anyon radikallerine karşı temizleme kapasitelerini ve ayrıca indirgeme gücünü belirlemiştir.

Kumar vd., (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, kadmiyum (Cd) toksisitesine karşı *U. lactuca*'nın antioksidan özelliklerine bakılmıştır. Tallusta ağırlıklı olarak SOD (Süper Oksit Dismutaz), GR (Glutasyon Redüktaz) ve GPx (Glutasyon Peroksidaz)'in antioksidatif enzim seviyelerinin yüksek olduğunu ve bu enzimlerin Cd toksisitesinin etkisini azaltmak için kombinasyon halinde hareket ettiğini göstermektedir. Aynı zamanda, incelenen Cd konsantrasyonunun (0.4 mM) CAT (Katalaz) aktivitesini güçlü bir şekilde inhibe ettiğini ve dolayısıyla her zaman O₂ radikallerine veya peroksizomal proteazlara karşı duyarlılığını öne sürdüğünü belirtmekte fayda var. SOD aktivitesi, reaktif O₂ iyonlarını H₂O₂ ve O₂'ye dönüştürmek için çok önemlidir. Cd ile muamele edilmiş tallusta gözlemlenen arttırılmış SOD aktivitesi, Fe ve Zn-SOD izoformlarına ek olarak indüklenen Mn-SOD izoformları ile ilişkili olabilir ve bunun O₂ radikallerini daha verimli bir şekilde temizlediğini gösterir. *Nannochloropsis oculata* ve *Glacilaria tenuistipitata*'da (Kadmiyuma maruz kalmalarının ardından) SOD aktivitesinde benzer bir artış rapor edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, *U. lactuca*'nın etanolik ekstraktının, 21,53 ve 11,26 mg Trolox/g gibi yüksek DPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) ve ABTS (2,2'-Azino-bis / 3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) süpürme aktivitesi için TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) değerleri ile nispeten yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Önceki çalışmalar, *U. lactuca* etanolik ekstraktında flavonoidler, saponinler, alkaloidler ve kardiyak glikozitler dahil olmak üzere çeşitli fitokimyasalların mevcut olduğunu göstermiştir. Özellikle, flavonoidler serbest radikalleri etkili bir şekilde süpürme yetenekleri nedeniyle in vitro antioksidan aktivite sergiler. Dahası saponinler, biyomoleküler hasarı önleyen hidroperoksit oluşturarak süperoksiti temizleyebilen benzersiz, kalıntı benzeri DDMP (2,3-dihidro-2,5-

dihidroksi-6-metil-4H-piran-4-on) içerir. Birlikte ele alındığında, *U. lactuca*'dan elde edilen etanolik ekstrakt, düşük konsantrasyonda nispeten güvenli ve özellikle yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu için faydalı özelliklere sahiptir (Osotprasit vd., 2025).

SONUÇ

Alg ekstraktlarının, içerdikleri değerli bileşenler sayesinde önemli koruyucu, yenileyici ve iyileştirici özelliklere sahip olduğu bildirilmektedir (Metin ve Baygar, 2018). *U. lactuca*, kozmetik, farmasötik, kimya, gıda ve enerji uygulamaları için kullanılmaya elverişli ticari olarak değerli olan bileşenleri içermektedir (Dominguez ve Loret, 2019). Doğal tıbbi bitkilere karşı ilgi fazla olup, bu durumun pek çok sebebi olduğu bildirilmektedir. İlk olarak son zamanlarda bilinçsiz antibiyotik kullanımının artmasıyla mikrobiyal direncin oluşmasıdır. Dolayısıyla tedavi edilemez hastalıklar ve dirençli yeni jenerasyonlar oluşmaktadır. İkinci olarak, sentetik orijinli ilaçların insan vücudunda beklenmedik ve istenmeyen bazı yan etkiler oluşturmaktadır. Farklı bir neden ise bitkisel kökenli ilaçlar birden fazla etki gösterirken, sentetikler ise genel olarak tek bir etkiye sahip olmasıdır. Ancak, bitkisel drogların yan etkilerinin daha iyi bilinmesinin sebebi olarak, onların çok eski çağlardan beri kullanılıyor olması gösterilmektedir (Şahin, 2012).

İdeal olarak insan kullanımına yönelik algler, yönetilen, sürdürülebilir kaynaklardan elde edilecek ve böylece izlenebilirlik ve yüksek düzeyde gıda güvenliği sağlanacaktır. Temel araştırmalar, deniz yosunu bazlı antioksidanların biyoyararlanımına ilişkin araştırmaları içermelidir. Organizmalar normal olarak herhangi bir metabolik seviyede izole olarak işlev görmezler. Oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları ve buna bağlı olarak hücrelerin reaktif türlere maruz kalması, tüm canlıların yaşamında temel bir süreçtir. Homeostazi tehlikeye atan, reaktif türlerin dengesizliğidir. Ancak, ilgili deniz yosunu antioksidanlarının metabolitleri, hücresel bozulmanın etkilerini hafifletebilir ve hatta azaltmaya yardımcı olabilir (Cornish ve Garbary, 2010). Sonuç olarak örneklerde görüldüğü gibi yapılan birçok çalışmada, *U. lactuca*'nın içeriğinde bulunan bileşikler sayesinde antiinflamatuvar, antikanser, antifungal, antimikrobiyal ve antioksidan gibi özellikler gösterdiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, B., Shah, M. & Choi, S. (2019). Oceans as a source of immunotherapy. *Marine Drugs*, 17(5). DOI: 10.3390/md17050282
- Albayati, M. A. F. (2020). *Bazı Makroalg Türlerinin Antimikrobiyal Aktivitelerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya, 60s.

- Barzkar, N., Jahromi, S. T., Poorsaheli, H.B. & Vianello, F. (2019). Metabolites from marine microorganisms, micro, and macroalgae: Immense scope for pharmacology. *Marine Drugs*, 17(8). DOI: 10.3390/md17080464
- Chen, L., Xu, W., Chen, D., Chen, G., Liu, J., Zeng, X. ve Zhu, H. (2018). Digestibility of sulfated polysaccharide from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* and its effect on the human gut microbiota in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 1055-1061. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.183
- Chung, Y., Jeong, Seula., Lee, I-K., Yun, B-S., Lee, J.S., Ro, S. & Park, J.K. (2021). Regulation of p53 Activity by (+)-Epiloliolide Isolated from *Ulva lactuca*. *Marine Drugs*, 19, 450. DOI: 10.3390/md19080450
- Çebi, A., Soylu, E.N. & Kaban, S. (2016). Karadeniz'den toplanan *Ulva lactuca* L. türünün toplam Antioksidan Kapasitesinin Belirlenmesi. *The Black Sea Journal of Sciences*, 6(14), 22-29.
- Çelenk, F.G. (2014). İzmir körfezi kıyılarındaki bazı makroalglerin antioksidan, sitotoksik, hipoglisemik ve hipolipidematik etkilerinin araştırılması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir, 189s.
- Cornish, M. L. & Garbary, D. J. (2010). Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *Algae*, 25(4), 155-171. DOI: 10.4490/algae.2010.25.4.155
- Dominguez, H. & Loret, E.P. (2019). *Ulva lactuca*, A Source of Troubles and Potential Riches. *Marine Drugs*, 17 (6), 1-20. DOI: 10.3390/md17060357
- Freile-Pelegrin, Y. & Morales, J.L. (2004). Antibacterial activity in marine algae from the coast of Yucatan, Mexico. *Botanica Marina*, 47(2), 140-146, DOI: 10.1515/BOT.2004.014
- Gümüş, B., Ünlüsayın, M. & Gümüş, E. (2018). A review on antimicrobial properties of marine macroalgae extracts. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(3), 343-351. DOI: 10.12714/egejfas.2018.35.3.15
- Kherraz-Chemlal, D., Khelil, F., Mazouzi, M., Matallah-Boutiba, A. & Bouderbala, M.(2024). Phytochemical Screening of Antioxidant and Antibacterial Activities of Marine Algae Extracts. *Polish Journal of Environmental Studies*, 34(3), 3199-3206. DOI: 10.15244/pjoes/188450
- Kidgell, J.T., Magnusson, M., de Nys, R. & Glasson, C.R.K. (2019). Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research*, 39, 101422. DOI: 10.1016/j.algal.2019.101422
- Kim, S.K. & Mendis, E. (2006). Bioactive compounds from marine processing byproducts-A review. *Food Research International*, 39(4), 383-393. DOI: 10.1016/j.foodres.2005.10.010
- Kolanjinathan, K. & Stella, D. (2009). Antibacterial Activity of Marine Macro Algae against Human Pathogens. *Recent Research in Science and Technology*, 1, 20-22.
- Kumar, M., Kumari, P., Gupta, V., Anisha, P.A., Reddy, C.R.K. & Jha, B. (2010). Differential responses to cadmium induced oxidative stress in marine macroalga *Ulva lactuca* (Ulvales, Chlorophyta). *Biometals*, 23(2), 315-25. DOI: 10.1007/s10534-010-9290-8
- Metin, C. & Baygar, T. (2018). Denizel Kaynaklardan Elde Edilen Biyoaktif Maddeler ve Kozmetik Alanında Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 14(4), 339-350. DOI: 10.22392/egirdir.399363
- Osotprasit, S., Samrit, T., Savedvanich, G., Chaiwichien, A., Changklungmoa, N., Kueakhai, P. & Jaikua, W. (2025). Evaluation of Toxicity and Antioxidant Activity of the Ethanolic Extract from *Ulva Lactuca*. *Trends in Sciences*, 22(2), 8812-8812.
- Öztürk, F. & Hamzaçebi, S. (2019). Farklı Çözgenlerle Elde Edilmiş *Ulva lactuca* Ekstraktlarının Antibakteriyel Aktivitesi. *Acta Aquatica Turcica*, 15(3), 272-279.
- Rezaie, A., Parker, R.D. & Abdollahi, M. (2007). Oxidative stress and pathogenesis of inflammatory bowel disease: an epiphenomenon or the cause? *Digestive diseases and sciences*, 52, 2015-2021.
- Şahin, Y. (2012). Karadeniz Kıyılarında Bulunan Bazı Makro Alg Türlerinin Antimikrobiyal Aktivitelerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.
- Sudhakar, M.P., Kumar, B.R., Mathimani, T. & Arunkumar, K. (2019). A review on bioenergy and bioactive compounds from microalgae and macroalgae-sustainable energy perspective. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1320-1333. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.287
- Taşkın, E., Öztürk, M. & Kurt, O. (2007). Antibacterial activities of some marine algae from the Aegean Sea (Turkey). *African Journal of Biotechnology*. 6(24), 2746-2751. DOI: 10.5897/AJB2007.000-2439
- Tong, T., Liu, Ya-J., Zhang, P. & Kang, S.G. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and α -amylase inhibitory activities of *Ulva lactuca* extract. *Korean Journal of Food Preservation*. 27(4), 513-521. DOI: 10.11002/kjfp.2020.27.4.513
- Torun, Z. & Konuklugil, B. (2020). Prebiotic effects of macroalgae. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 103-112. DOI: 10.12714/egejfas.37.1.12
- Tüney, I., Çadirci, B. H., Ünal, D. & Sukatar, A. (2006). Antimicrobial activities of the extracts of marine algae from the coast of Urla (İzmir, Turkey). *Turkish Journal of Biology*, 30(3), 171-175.
- Tziveleka, L. A., Tammam, M. A., Tzakou, O., Roussis, V. & Ioannou, E. (2021). Metabolites with antioxidant activity from marine macroalgae. *Antioxidants*, 10, 431. DOI: 10.3390/antiox10091431
- Wang, H. M. D., Li, X. C., Lee, D. J. & Chang, J. S. (2017). Potential biomedical applications of marine algae. *Bioresource Technology*, 244, 1407-1415. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.05.198



Hydrophyte Plant Species Naturally Distributed in Artvin Province and Their Medicinal-Aromatic Uses

Özgür EMİNAĞAOĞLU¹ Hayal AKYILDIRIM BEĞEN^{2*}

¹Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Artvin Çoruh University, 08000 Artvin, Türkiye

²Health Services Vocational School, Artvin Çoruh University, 08000 Artvin, Türkiye

Received: 05.12.2024

Accepted: 25.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Eminağaoğlu, Ö. & Akyıldırım Beğen, H. (2025). Hydrophyte Plant Species Naturally Distributed in Artvin Province and Their Medicinal-Aromatic Uses. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(2), 115-125. <https://doi.org/10.35229/jaes.1596517>

Atf yapmak için: Eminağaoğlu, Ö. & Akyıldırım Beğen, H. (2025). Artvin İlinde Doğal Yayılış Gösteren Hidrofit Bitki Türleri ve Tıbbi-Aromatik Kullanımları. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(2), 115-125. <https://doi.org/10.35229/jaes.1596517>

<https://orcid.org/0000-0003-0064-0318>
 <https://orcid.org/0000-0003-2028-5827>

*Corresponding author's:
Hayal AKYILDIRIM BEĞEN
Health Services Vocational School, Artvin
Çoruh University, 08000 Artvin, Türkiye.
 h.akyildirim@artvin.edu.tr

Abstract: Artvin Province, with 2,727 plant taxa, is Turkey's richest region in terms of plant diversity. This study aimed to list the hydrophyte plant species distributed in Artvin and its districts, quantify them based on aquatic plant types, sample them from the field, and determine their medicinal-aromatic uses. Floristic studies conducted between 2013 and 2024 identified natural plant species growing in aquatic habitats, and their habitat, flowering period, and medicinal-aromatic uses were documented. A total of 236 hydrophyte taxa belonging to 48 families and 135 genera were identified in Artvin Province. When categorized by habitat, 160 species were classified as marsh hydrophytes, 56 species as amphibious hydrophytes, 2 species as free-floating hydrophytes, 9 species as fixed-floating hydrophytes, and 8 species as submerged hydrophytes. The families with the highest number of species were Poaceae (45 taxa), followed by Cyperaceae (43 taxa), and Lamiaceae (10 taxa). 126 taxa were found to have medicinal uses, while 109 taxa had no recorded medicinal-aromatic uses. Additionally, threats and threat categories for these species were identified and documented.

Keywords: Artvin, hydrophytic plant, threat categories, medicinal-aromatic, Türkiye.

Artvin İlinde Doğal Yayılış Gösteren Hidrofit Bitki Türleri ve Tıbbi-Aromatik Kullanımları

Öz: Artvin ili 2727 bitki taksonu ile bitkisel çeşitlilik açısından Türkiye'nin en zengin ilidir. Bu çalışmada, Artvin ili ve ilçelerinde yayılış gösteren hidrofit bitki türlerinin listelenmesi, sucul bitki tiplerine göre sayısal olarak ifade edilmesi, alandan örneklenmesi ve tıbbi-aromatik kullanımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. 2013-2024 yılları arasında yapılan floristik çalışmalarda sucul alanlarda yetişen doğal bitki türleri belirlenmiş, habitat, çiçeklenme dönemi ve tıbbi-aromatik kullanımları verilmiştir. Artvin ilinde 48 familya 135 cinse ait 236 hidrofit takson tespit edilmiştir. Sucul bitki türlerini habitatlarına göre kategorilendirdiğimizde, 160 türün bataklık hidrofitleri, 56 türün amfibiye hidrofit, 2 türün serbest yüzen hidrofitler, 9 türün sabit yüzen hidrofit, 8 tür ise su altında yaşayan hidrofitler olduğu tespit edilmiştir. En fazla tür tespit edilen ilk üç familya, Poaceae 45 takson, Cyperaceae 43 takson, Lamiaceae 10 taksondur. Bu bitkilerden 126 taksonun tıbbi amaçla kullanıldığı, 109 bitkinin tıbbi-aromatik kullanımının bulunmadığı tespit edilmiştir. Bu türleri tehdit eden unsurlar ve tehdit kategorileri verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Artvin, hidrofit bitki, tehdit kategorileri, tıbbi-aromatik, Türkiye.

INTRODUCTION

Wetlands and aquatic plants hold a significant place within Türkiye's rich biodiversity. Wetlands not only host numerous plant and animal species but also influence the climatic conditions of the regions they are located in. They are vital and dynamic components of the global ecosystem, providing a wide range of ecosystem services, including

water regulation and biodiversity support. Although there is no fixed definition of a wetland, ecologically, it is described as: "All natural or artificial, permanent or seasonal bodies of water, whether brackish, fresh, or saline, flowing or still, with depths not exceeding six meters during low tide, and providing a habitat for living organisms." Wetlands are critical for maintaining ecological balance and supporting diverse life forms (Anonim 1999; 2000).

Wetlands are areas where the soil is completely or partially covered with water, at least periodically, and especially during the vegetation period. They also serve as transitional zones between terrestrial and aquatic ecosystems (Cowardin et al., 1979). Wetlands have influenced social, cultural, and economic processes throughout human history due to their ecological significance (Tırıl, 2006). Such areas facilitate the collection and retention of water, providing a habitat for numerous plant and animal species (Greb et al., 2006; Sarpdağ & Eminağaoğlu, 2020).

A plant that grows in an aquatic habitat or needs to spend at least part of its life cycle in water is called an "aquatic plant." Aquatic plants can exist in various forms, including submerged, free-floating on the surface, rooted at the surface, marsh plants, and amphibious plants (capable of growing both on land and in water) (Figure 1) (Maliya, 2006). These plants play a crucial role in ecological processes, supporting the growth of other organisms such as fish and aquatic insects, and helping to maintain the cleanliness of water surfaces. Aquatic plants are also vital for absorbing solar energy and determining the primary productivity of aquatic ecosystems (Biswas & Calder, 1937; Cook, 1996; Lavania et al., 1990; Sukumaran & Jeeva, 2011). Aquatic medicinal and aromatic plants are species that grow in aquatic habitats and possess medicinal or aromatic properties. These plants are particularly used for health and natural therapeutic purposes and often contain aromatic compounds. The medicinal and aromatic uses of aquatic plants are commonly found in traditional medicine or modern phytotherapy practices (Cook, 1996). Among these, *Nymphaea* spp. (Water Lilies) are commonly known for their sedative and analgesic properties, with certain species being used for medicinal purposes. *Mentha aquatica* (Water Mint) is used to treat ailments such as stomach problems, digestive disorders, and headaches. These plants also have pleasant aromas and offer various benefits, *Lemna minor* (Duckweed) contains nutrients beneficial for the body and is used in traditional medicine, *Typha angustifolia* (Cattail) is utilized both as food and medicine, it plays a role in regional healing practices, *Hydrocotyle* spp. (Water Pennywort) is known for benefiting skin health and accelerating wound healing, *Echinodorus* spp. (Sword Plants) is traditionally used as a diuretic and blood purifier, *Scripus* spp. (Bulrush) is believed to have detoxifying effects on the body and support the digestive system (Cook, 1996; Sukumaran & Jeeva, 2011). These plants not only contribute to vegetation but also provide various health benefits to humans by maintaining balance in the ecosystem. Aquatic plants are also used in the cosmetic and perfume industries due to their aromatic properties.

Artvin province, with 2,727 plant taxa, is the richest in Türkiye in terms of plant diversity and some of these

plants are distributed in and around rich wetlands such as streams, lakes and swamps. The streams, located in deep valleys, have created areas suitable for agriculture and settlement. Many villages and towns in Artvin are established around these streams. The water in these streams has become a vital source of life for the people living in the area. Locals use the streams to irrigate their gardens and fields, and they rely on the water from these streams for drinking and other daily needs (Eminağaoğlu et al., 2015). The aim of this research is to reveal the aquatic plant diversity in Artvin province and its districts. Therefore, a comprehensive field study was conducted to create a detailed list of aquatic plants in the region. The diversity, distribution, habitat ecology, and relationships of the aquatic plants were examined, along with their potential medicinal and aromatic significance.



Figure 1. Some hydrophyte species from Artvin a- *Epilobium hirsutum* L. b- *Alisma plantago-aquatica* L.

MATERIAL AND METHOD

Study Area: Artvin province is located within the A8-A9 grid of P. H. Davis's system. Situated in the Eastern Black Sea region, it spans from 40°35' to 41°32' North latitude and from 41°07' to 42°00' East longitude. It is bordered by Ardahan to the east, Erzurum to the south, Rize to the west, the Black Sea to the northwest, and Georgia to the north. The province ranges in elevation from sea level to 3,937 meters. Artvin is one of the most important provinces in Türkiye in terms of biological diversity, with its four significant plant and nature areas (Karçal Mountains, Çoruh Valley, Eastern Black Sea Mountains, and Yalnızçam Mountains), one biosphere reserve (Camili), two national parks (Karagöl-Sahara and Hatila Valley), three nature conservation areas (Camili-Efeler Forest, Camili-Gorgit, and Çamburnu), and five nature parks (Borçka-Karagöl, Altıparmak, Balıklı Güneşli Waterfalls, Tavşan Hill, and Cehennem Deresi Canyon). The region lies within the "Caucasus Biodiversity Hotspot," one of the world's 36 most biologically diverse and simultaneously endangered biodiversity hotspots. Additionally, Artvin is part of both the

"Caucasus-Anatolia-Hyrcanian Temperate Forests," one of the 200 priority ecological regions for conservation worldwide, and the "Northeastern Anatolia Plant Diversity Center". Artvin has many rivers, large and small. Most of the rivers in this region are relatively short; they originate from high altitudes and have fast currents. After converging in main rivers, they flow into the Black Sea. The longest river among them is the Çoruh River, which is 438 kilometers long (Eminağaoğlu et al., 2015). Specialized vegetation groups are found along these rivers (Eminağaoğlu, 1994).

Field Survey and Data Collection: Detailed field studies and sample collection activities were conducted between 2013 and 2024. Flora and vegetation studies were carried out with the aim of identifying wetland plants. Collection date, collection number, flowering period, distribution, and habitat was recorded. All important details about the wetland plants were documented in the field notebook on-site. Non-flowering plants (ferns) and herbaceous taxa of flowering plants were collected as research material. When collecting these plant samples, care was taken to include organs such as flowers, fruits, buds, leaves, stems, and roots that would assist in identification. The wetland plant specimens collected during the field study were pressed, dried, and properly preserved according to standard herbarium techniques. The collected plant specimens were identified using the work titled Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Davis, 1965-1985; Davis et al., 1988; Güner et al., 2000). All specimens were

examined under a stereozoom microscope (Nikon 750, 1000 1X–2X).

The Turkish plant names and their spelling in the floristic list were derived from the List of Plants of Türkiye (Vascular Plants) source (Güner et al., 2012). Habitat and distribution data were compiled from both the observations made during field studies and the flora and vegetation research conducted (Seçmen & Leblebici, 1991; Seçmen & Leblebici, 1997; Korkmaz & Mumcu, 2013; Eminağaoğlu, 1994).

Determining Medicinal-Aromatic Plants: As a result of field studies conducted in Artvin province and its districts, the medicinal and aromatic uses of some identified aquatic plant species were determined through a comprehensive literature review (Eminağaoğlu, 2005; Eminağaoğlu & Özcan, 2014; Eminağaoğlu et al., 2017; Eminağaoğlu, 2023; Eminağaoğlu et al., 2023; National Library of Medicine, 2024; Natural Herbs, 2024; Wildflowerweb, 2024; Eminağaoğlu & Akyıldırım Beğen, 2024).

RESULTS AND DISCUSSION

As a result of field studies carried out in aquatic habitats in Artvin province and its districts, a total of 236 aquatic plant taxa belonging to 48 families and 135 genera were identified. Habitat information, medicinal and aromatic uses, and herbarium numbers for these species are also listed (Table 1; Figure 4-8).

Table 1. List of hydrophyte plants distributed in Artvin.

Family	Taxon	Turkish Local Name	IUCN	Flowering Time	Habitat	Medicinal-Aromatic Usage (Eminağaoğlu, 2005; Eminağaoğlu et al., 2017, 2023; Natural Herbs, 2024)	Herbarium Number
Adoxaceae	<i>Sambucus ebulus</i> L.	Mürver otu		4-6	Wetlands, roadsides	From sinus infections (used in a nasal spray) to lowering blood pressure	ARTH 18313
Alismataceae	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	Çoban düdüğü	LC	6-9	In marshy and shallow waters along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1850 meters.	Cystitis, dysentery, renal calculus, gravel	ARTH 17536
Alismataceae	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	Suoku	LC	6-9	Along lake shores, in marshy areas, and within water bodies, at elevations ranging from 0 to 1500 meters.	Indigestion, skin problems, as an anti-rheumatic, anti-scorbutic, a diuretic and to reduce milk flow in lactating mothers, inducing premature birth	ARTH 18326
Amaranthaceae	<i>Chenopodium glaucum</i> L.	Göksirken		7-9	Along lake shores and muddy grounds, at elevations ranging from 0 to 980 meters.	Pathogenic diseases	ARTH 18327
Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i> L.	Döngele		5-7	In marshy or muddy areas along saline water shores, at elevations ranging from 0 to 1010 meters.	Regulate the blood pressure effect on vasoconstriction and hydrastine in its effect on the smooth muscles of the uterus cathartic, diuretic, emmenagogue, stimulant, and vermifuge	ARTH 18328
Amarylidaeae	<i>Allium flavum</i> subsp. <i>tauricum</i> (Besser ex Rchb.) K.Richt.	Toros sarısı		5-8	In marshy grounds near water channels.	No data	ARTH 18329
Apiaceae	<i>Sium sisarum</i> var. <i>lancifolium</i> L.	Sukerevizi		6-8	In marshes along lake shores, at elevations of 1050 to 1150 meters.	Dermatology, Diabetes	ARTH 18330
Araceae	<i>Lemna minor</i> L.	Sumerçimeği	LC	7	In lakes, ponds, streams, water channels, water sources, and rice fields, at elevations ranging from 0 to 1650 meters	Colds, measles, oedema and difficulty in urination	ARTH 18332
Araceae	<i>Lemna trisulca</i> L.	Yivli sumerçimeği	LC	6-7	In freshwater and saline lakes, as well as water sources, at elevations ranging from 0 to 1650 meters.	Treatment of swellings	ARTH 18331
Araliaceae	<i>Hydrocotyle ramiflora</i> Maximow.	Sarı sutaşı		7	Along water edges.	Treatment of rheumatic troubles, skin diseases including syphilis and liver complaints	ARTH 18333
Asparagaceae	<i>Ornithogalum montanum</i> Cirillo	Geniş yapraklı tükürükotu		5-7	In marshes and wet meadows, at elevations ranging from 1200 to 2270 meters.	No data	ARTH 18334
Asteraceae	<i>Bidens tripartita</i> L.	Üç suketeni	LC	7-9	In marshes and along stream banks, at elevations ranging from 0 to 1000 meters.	Catarrhal rhinitis, angina, acute respiratory infections, and as an anti-inflammatory in colitis, gout, and infantile rickets	ARTH 18337
Asteraceae	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	Köygöçüren		5-10	In wetland areas along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1150 meters.	Eye diseases, skin wounds, bleeding hemorrhoids, anti-diabetic, anti-oxidant, hepato-protective, anti-inflammatory, vasorelaxant, anti-cancer.	ARTH 17605
Asteraceae	<i>Cirsium canum</i> (L.) All.	Gri dededikeni		7-8	In marshes along lake and water shores, at elevations ranging from 1000 to 1500 meters.	No data	ARTH 18336
Asteraceae	<i>Crepis vesicaria</i> L.	Kese kısıksı		4-6	In marshes at sea level.	No data	ARTH 17613
Asteraceae	<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	Koyuntırpağı		5-9	Marshy areas	Anti-inflammatory agent for respiratory tract diseases	ARTH 17619
Asteraceae	<i>Jacobaea mollis</i> (Willd.) B.Nord.	Yumuşak kanarya otu		7-9	In wet areas along marshes and stream banks, at elevations ranging from 850 to 1110 meters.	No data	ARTH 18335
Asteraceae	<i>Pulicaria dysenterica</i> (L.) Bernh.	Yara otu		7-9	In marshy and muddy grounds along lake and water shores, at elevations ranging from 0 to 1150 meters.	Dysentery	ARTH 17640
Boraginaceae	<i>Aegonychon purpuracoeruleum</i> (L.) Holub	Göktaşkesen		4-7	Meadows situated on the edge of the woodlands	Gynecological disorders	ARTH 18477

Boraginaceae	<i>Echium vulgare</i> L.	Engerek otu		4-8	Meadow	Treatment of snake bites	ARTH 17681
Boraginaceae	<i>Myosotis laxa</i> Lehm. subsp. <i>caespitosa</i> (C.F. Schultz) Hyl. ex Nordh.	Hüthügözü	LC	5-8	In marshy areas along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1500 meters.	No data	ARTH 18338
Brassicaceae	<i>Aethionema arabicum</i> (L.) Andrz. ex Rchb.	Arap taşcantası		4-6	Meadows situated on the edge of the woodlands,	No data	ARTH 17693
Brassicaceae	<i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.	Nicarotu	LC	4-5	In marshy meadows, at elevations ranging from 0 to 1500 meters.	Wound healing, appetizing, curative of scurvy and diuretic, kidney failure	ARTH 17702
Brassicaceae	<i>Cardamine raphanifolia</i> Pourr. subsp. <i>acris</i> (Gris.) O.E. Schulz	Çeykodiim		6-8	Along lake shores in high elevations, approximately at 1100 meters.	No data	ARTH 18341
Brassicaceae	<i>Lepidium draba</i> L.	diğnik		4-6	Meadows and pastures, cultivated fields, home gardens, national parks and wasteland	Antiscorbutic, cure for flatulence and fish poison	ARTH 18478
Brassicaceae	<i>Lepidium latifolium</i> L.	Nujdar		6-8	In marshy environments along lake shores, at elevations ranging from 900 to 1000 meters.	Stomach tonics and diuretics, hypertension, diabetes	ARTH 18340
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Suteresi	LC	3-7	In clean spring waters and channels, at elevations ranging from 0 to 1100 meters.	Essential oil, Hypertension, hyperglycemia, renal colic, anti-cancer, anti-oxidant, diuretic, expectorant, anti-diabetic	ARTH 18339
Brassicaceae	<i>Rorippa austriaca</i> (Crantz) Spach	Topçakandura	LC	5-6	In wet marshes and muddy grounds, at elevations ranging from 0 to 1020 meters.	No data	ARTH 17716
Brassicaceae	<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Besser	Çakandura	LC	6-9	In shallow waters along lake shores and marshy grounds, at elevations ranging from 0 to 2000 meters.	Kidney stones, urinary tract infections, and edema	ARTH 17717
Butomaceae	<i>Butomus umbellatus</i> L.	Bataklıkgülü	LC	5-9	In lakes, puddles, shallow waters, and marshes, at elevations ranging from 0 to 1950 meters.	No data	ARTH 18342
Caryophyllaceae	<i>Cerastium chlorifolium</i> Fisch. & C.A.Mey.	Parlak boynuzotu		5-7	Marshy areas	Fever, cough, and colds.	ARTH 17747
Caryophyllaceae	<i>Holosteum marginatum</i> C.A.Mey.	Kaşıkçalan		5	Marshy areas	No data	ARTH 18480
Caryophyllaceae	<i>Spergularia media</i> (L.) C. Presl.	Kuş remilotu	LC	5-8	In saline marshes along the coast or inland, at elevations ranging from 0 to 1100 meters.	No data	ARTH 18343
Caryophyllaceae	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop.	Vergelotu		7-8	Marshes, fens, streamside, ditches and damp woods at low altitudes	Galactagogue, fistula	ARTH 17776
Caprifoliaceae	<i>Cephalaria aristata</i> K.Koch	Orumotu		6-8	Marshy areas	No data	ARTH 18479
Celastraceae	<i>Parnassia palustris</i> L.	Yürekyaprağı	LC	7-9	In marshy meadows along the shores of high-altitude lakes, at elevations ranging from 1500 to 1660 meters.	Treat disorders of the liver and indigestion, kidney stones.	ARTH 18344
Convolvulaceae	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.	Çit denizsarmaşığı		5-9	It is typically found as a climber on the stems of Phragmites australis in wetland and marshy areas along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1000 meters.	Gallbladder, sedative, analgesic, laxative, diuretic, antipyretic, potent cleaner.	ARTH 17784
Convolvulaceae	<i>Calystegia silvatica</i> (Kit.) Griseb	Bürük		4-8	They are found as climbers on plants in wetland areas along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1100 meters.	Digestive problems, skin conditions, and respiratory issues	ARTH 17785
Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Tarla sarmaşığı		4-9	It is found as a climber on other plants in marshy and wetland areas along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1150 meters.	Laxative, diuretic, abortifacient.	ARTH 17787
Cyperaceae	<i>Blysmus compressus</i> (L.) Panz. ex Link	Yassı hasırotu	LC	5-8	Freshwater and saline marshes, and wetland areas that dry up in summer, at elevations ranging from 850 to 1500 meters.	Eat digestive problems, skin diseases, and respiratory issues	ARTH 18377
Cyperaceae	<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	Sandalyesazı	LC	7-8	Brackish to saline marshes and coastal strands	It is used as a poison and a medicine	ARTH 18374
Cyperaceae	<i>Bulbostylis hispidula</i> (Vahl) R.W.Haines.	Karakofa	LC	6-8	Roadsides, bamboo zones, heath scrub, ericaceous zone, moorland	No data	ARTH 18352
Cyperaceae	<i>Bulbostylis tenerrima</i> (Fisch. & Mey. ex Ledeb.) Palla	Kancıkofa	DD	6-7	Roadsides, bamboo zones, heath scrub, ericaceous zone, moorland	No data	ARTH 18351
Cyperaceae	<i>Carex acuta</i> L.	Bataklıksazı	LC	5-6	Along lake and water shores, in shallow waters, at elevations ranging from 0 to 1660 meters.	No data	ARTH 18369
Cyperaceae	<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	Çayrsazı	LC	5-6	Wet meadows, and wetland areas along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1900 meters.	No data	ARTH 18362
Cyperaceae	<i>Carex canescens</i> L.	Hanımşaparna	LC	5-6	In bog marshes and along lake shores, at elevations ranging from 1400 to 2650 meters.	Digestive issues, menstrual cramps, and skin conditions	ARTH 18380
Cyperaceae	<i>Carex distans</i> L.	Ayrık şaparna	LC	5-6	Saline and slightly saline marshes, wet and marshy meadows, at elevations ranging from 0 to 1000 meters.	Colds, coughs, diarrhea	ARTH 18384
Cyperaceae	<i>Carex divisa</i> Huds.	Zevzirçimeni	LC	3-6	In saline marshy meadows, along soda lake shores, and in rice fields, at elevations ranging from 0 to 1700 meters.	No data	ARTH 17804
Cyperaceae	<i>Carex echinata</i> Murray	Dikenli şaparna		5-6	Wet meadows and marshes, at approximately 10 meters.	No data	ARTH 18361
Cyperaceae	<i>Carex flacca</i> subsp. <i>erythrostachys</i> (Hoppe) Holub.	Yanık çayrsazı		5-6	Wet meadows and lake shores, at elevations ranging from 0 to 1600 meters.	No data	ARTH 18365
Cyperaceae	<i>Carex hirta</i> L.	Tüylü çayrsazı		5-6	Wet meadows and muddy grounds, at elevations ranging from 50 to 1500 meters.	The rhizome is diuretic	ARTH 18381
Cyperaceae	<i>Carex hordeistichos</i> Vill.	Arpa çayrsazı		5-6	Marshes and shallow waters along lake and stream shores, at elevations ranging from 860 to 1050 meters.	No data	ARTH 18367
Cyperaceae	<i>Carex leporina</i> L.	Tülüşazotu		5-6	In wet meadows, at approximately 1500 to 1660 meters.	No data	ARTH 18360
Cyperaceae	<i>Carex magellanica</i> Lam. subsp. <i>irrigua</i> (Wahlenb.) Hiitonen	Yaman sazotu	LC	5-6	Marshy meadows and lake shores, at elevations ranging from 1750 to 2900 meters.	Diarrhea, fever, headaches	ARTH 18385
Cyperaceae	<i>Carex melanostachya</i> M.Bieb. ex Willd.	Benli ayakotu		5-6	Marshes, wet meadows, at elevations ranging from 50 to 1200 meters.	No data	ARTH 18363
Cyperaceae	<i>Carex panicea</i> L.	Darımsı şaparna		5-6	Marshy grounds, at elevations ranging from 1500 to 1600 meters.	No data	ARTH 18366
Cyperaceae	<i>Carex pendula</i> Huds.	Asık şaparna		5-6	Water edges, at approximately 50 meters.	No data	ARTH 17805
Cyperaceae	<i>Carex remota</i> L.	Nazlışaparna	LC	5-6	In marshy grounds beneath forests, at elevations ranging from 0 to 880 meters.	Digestive problems, skin irritations, and infections	ARTH 18379
Cyperaceae	<i>Carex rostrata</i> Stokes	Sırıksaparna	LC	5-6	Lake shores, marshes, at approximately 1500 meters.	No data	ARTH 18364
Cyperaceae	<i>Carex sylvatica</i> Hudson subsp. <i>latifrons</i> (V. Krecz.) Ö. Nilsson	Enlisaz		5-6	Wet meadows, at elevations ranging from 1000 to 2000 meters.	Diarrhea, fever, and respiratory problems	ARTH 18383
Cyperaceae	<i>Carex umbrosa</i> subsp. <i>huetiana</i> (Boiss.) Soó	Gölge seven şaparna	LC	5-6	The edges of water sources, at elevations ranging from 1600 to 3350 meters.	No data	ARTH 18368
Cyperaceae	<i>Cyperus glaber</i> L.	Köşnüotu	LC	7-9	In marshes, water edges, rice fields, and along lake shores, at elevations ranging from 50 to 1150 meters.	No data	ARTH 18345
Cyperaceae	<i>Cyperus difformis</i> L.	Göcelebüken	LC	7-8	Along lake shores and in rice fields, at elevations ranging from 0 to 1890 meters.	No data	ARTH 18346
Cyperaceae	<i>Pycnus flavescens</i> (L.) P.Beauv. ex Rchb.	Samanberdi	LC	8-9	Lake and stream shores, at elevations ranging from 140 to 1150 meters.	No data	ARTH 18347
Cyperaceae	<i>Pycnus flavidus</i> (Retz.) Koyama	Sarıberdi	LC	7-8	In marshy slopes and along water sources, at elevations ranging from 0 to 140 meters.	No data	ARTH 18348
Cyperaceae	<i>Pycnus sanguinolentus</i> (Vahl.) Nees	Berdi		8	Along water edges and at stream mouths, at elevations ranging from 0 to 900 meters.	No data	ARTH 18349

Cyperaceae	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl.	Çatalberdi		7-9	At stream mouths.	No data	ARTH 18350
Cyperaceae	<i>Eleocharis quinqueflora</i> (Hartmann) O.Schwarz	Seyreksaz	LC	5-8	In marshes, marshy meadows, and along water edges, at elevations ranging from 1400 to 1950 meters.	No data	ARTH 18353
Cyperaceae	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roemer & Schultes	Delisaz	LC	3-9	Lake shores, water channels, saline and freshwater marshes, and marshy meadows, at elevations ranging from 0 to 2600 meters.	No data	ARTH 18354
Cyperaceae	<i>Eleocharis uniglumis</i> (Link) Schult.	Kaplıksazı	LC	5-8	In shallow waters along lake and stream shores, and in slightly salty marshes, at elevations ranging from 905 to 1660 meters.	No data	ARTH 18355
Cyperaceae	<i>Isolepis setacea</i> (L.) R. Br.	Tüylü knotu	LC	5-10	In marshes and oxygen-poor puddles, at approximately 770 meters.	No data	ARTH 18356
Cyperaceae	<i>Scirpus sylvaticus</i> L.	Topakbedri	LC	5-7	Marshes and water edges, at approximately 50 meters.	No data	ARTH 18357
Cyperaceae	<i>Eriophorum latifolium</i> Hoppe	Pambikotu	LC	5-6	Wet meadows, at elevations ranging from 1200 to 2100 meters.	No data	ARTH 18358
Cyperaceae	<i>Rhynchospora alba</i> (L.) Vahl.	Aksazberdi	LC	5-8	In acidic bog areas, at approximately 1600 meters.	No data	ARTH 18359
Cyperaceae	<i>Carex vesicaria</i> L.	Bohçalısaparna	LC	5-6	In marshes along lake and water shores, at elevations ranging from 850 to 1850 meters.	Urinary tract infections, kidney stones, and diarrhea	ARTH 18382
Cyperaceae	<i>Cyperus serotinus</i> Rottb.	Gelgit hasırı		8-9	In mud and marshes along lake shores, at approximately 140 meters.	No data	ARTH 18370
Cyperaceae	<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	Bataklık keteni		5-6	Marshy meadows and lake shores, at approximately 1750 meters.	Anti-inflammatory and diuretic agent. Plant extracts with the fruits of this plant are used as a pain reliever, antipyretic and sedative.	ARTH 18376
Cyperaceae	<i>Fimbristylis bisumbellata</i> (Forssk.) Bubani	İkiz telberdi		7-9	In marshy areas, at approximately 70 meters.	Urination problems and kidney problems.	ARTH 18371
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C.Gmel.) Palla.	Ayna semerotu	LC	4-8	In lakes, lagoons, water edges, and irrigation channels, at elevations ranging from 0 to 2600 meters.	Leaf juice used in attempt to cure blindness	ARTH 18372
Cyperaceae	<i>Schoenoplectiella mucronata</i> (L.) J.Jung & H.K.Choi	Sivriberdi	LC	7-10	In rice fields, at elevations ranging from 0 to 1000 meters.	Release heat, to clear the eyes and to relieve coughing.	ARTH 18373
Cyperaceae	<i>Schoenus nigricans</i> L.	İnekgözü	LC	3-7	Saline marshes and thermal waters, at elevations ranging from 0 to 950 meters.	Respiratory problems and skin irritation	ARTH 18378
Cyperaceae	<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják	Vurla	LC	4-8	Marshes, streams, irrigation channels, and crater lakes, at elevations ranging from 0 to 1150 meters.	Root is a cure for snake and scorpion bites, uterine discharge, overdose causes the uterus to prolapse, diuretic, removes stones from the area and is extremely useful for edema.	ARTH 18375
Equisetaceae	<i>Equisetum fluviatile</i> L.	kırkboğum			Swamps, lakes, streams, ditches	No data	ARTH 18481
Equisetaceae	<i>Equisetum hyemale</i> L.	ulamotu			In open or wooded areas along streams, on alluvial flats, and on wet ledges;	No data	ARTH 18482
Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L.	kırkkilitotu			In open or wooded areas along streams, on alluvial flats, and on wet ledges;	Diuretic and hemostatic in urinary disorders	ARTH 18483
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heteradena</i> Jaub. & Spach	Kerigan		5-9	In marshes along lake shores, at elevations ranging from 1000 to 2300 meters.	No data	ARTH 18386
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hirsuta</i> L.	Kılı sülleğen		4-9	In saline marshes and marshy meadows at sea level.	Female disorders, respiratory ailments (cough, coryza, bronchitis, and asthma), worm infestations in children, dysentery, jaundice, pimples, gonorrhea, digestive problems, and tumors	ARTH 17835
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia esula</i> subsp. <i>tommasiniana</i> (Bertol.) Kuzmanov.	Eşek sülleğeni		4-9	Marshes and water edges, at elevations ranging from 1000 to 3000 meters.	Potential cytotoxic effects in several human tumor cells.	ARTH 17842
Fabaceae	<i>Astragalus odoratus</i> Lam.	Misk geveni		6-7	In marshes along lake shores, at elevations ranging from 850 to 1950 meters.	All parts of the plant are toxic, particularly the seeds, however poisoning from this genus is only a hazard after four to eight weeks of chronic ingestion of the plant material. Symptoms include paralysis, bradycardia, shallow breathing, muscular tremors and convulsions, and severe cases are potentially fatal	ARTH 17850
Fabaceae	<i>Lathyrus nissolia</i> L.	Çimenburçak		5-7	In marshes, at elevations ranging from 0 to 1900 meters.	No data	ARTH 17866
Fabaceae	<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Tarla burçağı		6-7	In marshy meadows along lake shores, at elevations ranging from 850 to 1500 meters.	No data	ARTH 17867
Fabaceae	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>tenuifolius</i> L.	Gazel boynuzu		4-9	In marshes along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1700 meters.	Anti-oxidant, immunostimulant.	ARTH 17874
Fabaceae	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Desr.	kokuluyonca		5-9	Prairies, savannas, dunes, hillsides, ravine shores, roadsides and forest edges	Reduce the risk of phlebitis (inflammation of a vein) and thrombosis.	ARTH 17881
Fabaceae	<i>Securigera varia</i> L.	körigen		6-9	Meadows and fields, shores of rivers or lakes	Insecticide	ARTH 17858
Gentianaceae	<i>Centaurium pulchellum</i> (Swartz) Druce	Pembe tukul	LC	4-7	Marshy areas, at elevations ranging from 0 to 850 meters.	No data	ARTH 18387
Gentianaceae	<i>Centaurium tenuiflorum</i> subsp. <i>acutiflorum</i> (Schott) Zeltner	Zarif çiçekli kantaron		6-7	In slightly saline or non-saline marshes, at elevations ranging from 0 to 950 meters.	Inflammation, digestive issues	ARTH 18388
Gentianaceae	<i>Swertia iberica</i> Fisch. ex Boiss.	Safraca	LC	7-8	In marshes at high altitudes, at elevations ranging from 1600 to 2700 meters.	Hepatitis, cholecystitis, pneumonia, osteomyelitis, dysentery, and scabies	ARTH 18389
Geraniaceae	<i>Geranium rotundifolium</i> L.	helilik		5-9	Shores, floodplains, rocks and barren places	Throat, bleeding, nephritis and bruises	ARTH 17927
Haloragidaceae	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Sucivanperçemi	LC	3-9	In lakes, irrigation channels, and slow-flowing streams, at elevations ranging from 0 to 1670 meters.	Demulcent, febrifuge	ARTH 18390
Hypericaceae	<i>Hypericum venustum</i> Fenzl	Tentüdiyototu		7-8	In marshy environments along lake shores, at approximately 1500 meters.	No data	ARTH 18391
Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i> L.	Batak süseni		5-7	In wet meadows along lake shores, at approximately 1890 meters.	Stimulant, tonic, anticonvulsant and diuretic, cure epilepsy	ARTH 18392
Iridaceae	<i>Gladiolus kotschyanus</i> Boiss.	Çayır kılıçotu		4-8	In marshy areas along lake and stream shores, at elevations ranging from 400 to 2900 meters.	Peptic Ulcer, skin infections, gut, urogenital system, upper respiratory tract, gonorrhea, dysentery, other infectious conditions.	ARTH 18393
Iridaceae	<i>Sisyrinchium micranthum</i> Cav.			3-7	on roadsides at 0-10 m with <i>Oxalis corniculata</i> L., <i>Plantago major</i> L.	No data	ARTH 17303
Juncaceae	<i>Juncus inflexus</i> L.	Sazak	LC	4-8	Along water edges, marshy grounds, and wet meadows, at elevations ranging from 0 to 1990 meters.	No data	ARTH 18394
Juncaceae	<i>Juncus conglomeratus</i> L.	Hasırsazı	LC	4-7	Along water edges, at elevations ranging from 0 to 1600 meters.	No data	ARTH 18395
Juncaceae	<i>Juncus compressus</i> Jacq.	Karahasırlık	LC	5-7	In marshy and muddy areas along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1500 meters.	No data	ARTH 18396
Juncaceae	<i>Juncus bufonius</i> L.	Kurbağa hasırotu	LC	3-9	In marshy and muddy grounds, at elevations ranging from 0 to 2600 meters.	No data	ARTH 18397
Juncaceae	<i>Juncus effusus</i> L.	Has köfe	LC	4-7	In marshy areas along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1620 meters.	Sore throats, jaundice, oedema, acute urinary tract infection and morbid crying of babies.	ARTH 17943
Juncaceae	<i>Juncus filiformis</i> L.	Kızıcağı	LC	6-8	Marshy meadows at high altitudes, at elevations ranging from 2000 to 2750 meters.	Infections, kidney stones	ARTH 18398
Juncaceae	<i>Juncus articulatus</i> L.	Camışotu	LC	4-8	In marshes along lake shores, at elevations ranging from 0 to 1990 meters.	Hypnagogic, sedative, spasmolytic, local anesthetic, anticancer agent	ARTH 18399
Juncaginaceae	<i>Triglochin maritima</i> L.	Sahil okotu		5-8	Marshes, at elevations ranging from 900 to 1890 meters.	No data	ARTH 18400
Juncaginaceae	<i>Triglochin palustris</i> L.	Suğengeli	LC	5-9	Marshes and along lake shores, at elevations ranging from 850 to 1700 meters.	No data	ARTH 18401
Lamiaceae	<i>Glechoma hederacea</i> L.	yemanesi		3-6	Meadows and fields	Diuretic and stimulant	ARTH 17956
Lamiaceae	<i>Mentha aquatica</i> L.	Su nanesi	LC	7-10	Along lake and stream shores, in marshes, at elevations ranging from 0 to 1200 meters.	Sedative, analgesic, carminative, stomach stimulant, anti-nausea. excessive consumption may cause miscarriage.	ARTH 17968

Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i> L.	Gelinciklemeotu		6-9	In marshes and muddy grounds along water edges, at elevations ranging from 0 to 1660 meters.	Allergy, anti-inflammatory, anti-HIV, skin irritation healer, germicide, wound healer, astringent, Antipyretic, diuretic, strengthening, prevents mouth sores, goiter, diarrhea and boils.	ARTH 17984
Lamiaceae	<i>Mentha spicata</i> L.	Başlıklı nane	LC	6-8	In mudflats and wet meadows along water edges that dry up in summer, at elevations ranging from 0 to 140 meters.	Antimicrobial, antispasmodic, choleric, carminative Anti-cramp, carminative, bile enhancer, anti-inflammatory, disinfectant, pain reliever, soothing	ARTH 17972
Lamiaceae	<i>Mentha pulegium</i> L.	Yarpuz	LC	6-9	In mudflats and wet meadows along water edges that dry up in summer, at elevations ranging from 0 to 140 meters.	Strengthening, digestive, phlegm, bile expectorant, menstrual inducing, nausea treatment.	ARTH 17971
Lamiaceae	<i>Mentha longifolia</i> (L.) Hudson	Pünk	LC	6-8	Along water edges and in marshes, at elevations ranging from 100 to 1990 meters.	Strengthening, digestive, anticonvulsant, antitussive, insecticidal properties, A strongly aromatic culinary herb used in infusion, liquid extract, syrup, powder, essence, fruit juice, and tobacco, perfume, drink raw materials, anti-septic, sedative, midevi, carminative, anti-nausea, anti-diarrheal phlegm,	ARTH 17970
Lamiaceae	<i>Lycopus europaeus</i> L.	Avrupa kurt ayağı	LC	6-10	In marshy areas along lake shores and in temporary water bodies, at elevations ranging from 0 to 1600 meters.	No data	ARTH 17964
Lamiaceae	<i>Teucrium scordium</i> L. subsp. <i>scordioides</i> (Schreber) Maire & Petitmengin	Bataklik kısamahmutotu		5-9	Freshwater or slightly saline marshes, at elevations ranging from 0 to 1100 meters.	Anthelmintic, antifungal, antiseptic, diaphoretic, skin, tonic, antidote for poisons, anthelmintic, tonic, diaphoretic actions for all inflammatory diseases	ARTH 18019
Lamiaceae	<i>Scutellaria galericulata</i> L.	Miğferli kalkantaç		6-8	In marshes along lake and stream shores, at elevations ranging from 0 to 1400 meters.	Anti-inflammatory, antispasmodic, slightly astringent, febrifuge, nervine, strongly tonic, throat infections	ARTH 18402
Lamiaceae	<i>Stachys palustris</i> L.	Gölsırganı	LC	6-10	In wet marshy areas along lake shores, at elevations ranging from 0 to 950 meters.	Emetic, antiseptic, nervine, sedative, antispasmodic, emmenagogue, hemostatic, vulnerable, expectorant, tonic agent	ARTH 18009
Linderniaceae	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Philcox	Sürünücü kutuotu	Bern LC	6	In marshy areas, at sea level.	No data	ARTH 18403
Linderniaceae	<i>Lindernia diffusa</i> (L.) Wettst.	Som kutuotu	LC	6	In marshy areas, at sea level.	No data	ARTH 18404
Lythraceae	<i>Lythrum salicaria</i> L.	Hevhulma	LC	6-8	Along lakes, streams, and water edges, at elevations ranging from 0 to 1620 meters.	Diuretic, astringent, haemorrhagic, strengthening, against eczema, hemorrhoids, dysentery prevention	ARTH 18035
Malvaceae	<i>Althaea cannabina</i> L.	Güllhannaz		6-8	In marshes, at elevations ranging from 1250 to 1500 meters.	Asthma, bronchitis, cold, sore throat, cough, ulcerative colitis, stomach ulcers, weight loss, wound healing, anti-tussive, diuretic, emollient, laxative, odontalgic.	ARTH 18405
Menyanthaceae	<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	Suyoncasi	LC	7-8	In lakes and marshes at high altitudes, at elevations ranging from 850 to 1660 meters.	No data	ARTH 18406
Onagraceae	<i>Epilobium parviflorum</i> Schreber	İraz yakiotu	LC	5-9	In marshy and muddy areas along lakes and water edges, at elevations ranging from 0 to 2000 meters.	Prostate gland, urinary bladder and treatment of kidney diseases, anti-inflammatory.	ARTH 18048
Onagraceae	<i>Epilobium angustifolium</i> L.	Dar yapraklı yakiotu		6-8	In muddy grounds along lakes and water edges, at approximately 1000 meters.	Anti-spasmodic (contraction and compression of smooth muscles such as kidneys and stomach), astringent (more contraction of tissues caused by tannins), demulcent (softening of wounds), emollient (condition of skin softening, healing state), hypnotic, laxative (cleansing the intestines, relieving constipation) and tonic effect.	ARTH 18045
Onagraceae	<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Hasanhüseyn çiçeğ	LC	6-9	In marshy areas, at elevations ranging from 0 to 1660 meters.	In the treatment of eczema, acne, burns, ulcers, skin diseases, inflammations, bladder health protection, maintenance of men's health, hormonal imbalances, urinary system health.	ARTH 18046
Onagraceae	<i>Epilobium anatolicum</i> Hausskn.	Ana yakısı	LC	7-8	In muddy environments along lake shores, at an elevation of 1660 meters.	No data	ARTH 18407
Onagraceae	<i>Epilobium palustre</i> L.	Bataklik yakiotu		7-8	In marshy grounds along lakes and water edges, at elevations ranging from 850 to 1620 meters.	No data	ARTH 18408
Onagraceae	<i>Epilobium confusum</i> Hausskn.	Mukaddes defne	LC	7	In marshes and wet meadows at high altitudes, at approximately 2660 meters.	No data	ARTH 18409
Onagraceae	<i>Epilobium montanum</i> L.	Dağ yakiotu		7-8	In wet muddy areas in forest clearings at high altitudes, at approximately 800 meters.	Kidney, urinary tract, prostate diseases, anticancer	ARTH 18410
Onagraceae	<i>Epilobium tetragonum</i> L.	Dört köşeli yakiotu		6-8	In muddy and marshy areas along lake shores, at elevations ranging from 1100 to 1500 meters.	Skin irritations, wounds, digestive problems, anti-inflammatory, analgesic properties	ARTH 18411
Onagraceae	<i>Epilobium minutiflorum</i> Hausskn.	Küçük çiçekli yakiotu	LC	6-8	In marshy grounds along lakes and water edges at high altitudes, at elevations ranging from 1000 to 1100 meters.	Constipation	ARTH 18412
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza urvilleana</i> (Steudel) Baumann & Künkele	Balkaymak		6-8	Water sources and meadow at elevations ranging from 0 to 2500 meters.	Treat skin problems such as wounds, abscess, inflammation, and as tonic	ARTH 18065
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza euxina</i> (Nevski) Czerep.	Laz salebi	NT	6-8	Peat meadows, along water sources, at elevations ranging from 1150 to 2900 meters.	Cough, inflammation, skin, affections, used as aphrodisiac, tonic, cure wounds	ARTH 18058
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza saccifera</i> (Brongn.) Soó	Keselisalep		6-8	Forests, forest edges, water source edges, streams, 800–1680 m.	Tuber used in decoction as panacea, and breath shortness tubers harvested for Salep	ARTH 18061
Orchidaceae	<i>Epipactis palustris</i> (L.) Grantz	Danakıranotu	LC	7	Marsh meadows, at elevations ranging from 0 to 1750 meters.	No data	ARTH 18069
Orchidaceae	<i>Anacamptis palustris</i> (Jacq.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase.	Bataklik salepotu	LC	6-7	Marsh and wet meadows, at elevations ranging from 850 to 1500 meters.	No data	ARTH 18051
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza umbrosa</i> (Kar. Et Kir.) Nevski	Gövdelisalep		6-8	Marsh, at elevations ranging from 1500 to 3300 meters.	No data	ARTH 18060
Orchidaceae	<i>Neottia ovata</i> (L.) Bluff & Fingerh.	Çalı salebi		5-6	Near water sources and wet meadows, at elevations ranging from 50 to 1700 meters.	Clears heat, moves the blood, promotes healing	ARTH 18413
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza iberica</i> (Bieb. ex Willd.) Soó	Kırım salebi		5-8	Wet meadows, swamps, and the edges of lakes and water sources, at elevations ranging from 1000 to 1500 meters.	Hemorrhoids	ARTH 18059
Orchidaceae	<i>Dactylorhiza osmanica</i> (KL.) Soó	Osmanlı salebi		6-7	Swamps, water sources, and riverbanks.	Metabolic inflammation, cancer	ARTH 18062
Örobanchaceae	<i>Euphrasia hirtella</i> Jord. ex Reut.	Yayla gözotu		6-9	Marshy areas	No data	ARTH 18484
Örobanchaceae	<i>Rhynchocorys elephas</i> (L.) Griseb.	Filburnu		4-8	Sulak alanlara, alpin çayirlara ve yamaçlara	No data	ARTH 18094
Örobanchaceae	<i>Rhynchocorys stricta</i> (K.Koch) Albov	Hoş filburnu		4-8	Sulak alanlara, alpin çayirlara ve yamaçlara	No data	ARTH 18095
Plantaginaceae	<i>Plantago major</i> L.	İri yapraklı sinirliotu		4-6	Wetlands, alpine meadows and hillsides	Diarrhea, gastritis, peptic ulcer, irritable bowel syndrome, hemorrhage, hemorrhoids, cystitis, bronchitis, catarrh, sinusitis, asthma, hay fever.	ARTH 18131
Plantaginaceae	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Mızrakı yapraklı sinirliotu		4-10	In marshy soils, 0-70 m.	Ulcer, hemorrhoids, bronchitis, sinusitis, asthma	ARTH 18130
Plantaginaceae	<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	Kekik yapraklı tavşanotu		4-7	At the water's edge, marshy meadows, and muddy soils, 50-70 m.	Treat a variety of ailments, including coughs, colds, and digestive problems.	ARTH 18414
Plantaginaceae	<i>Plantago scabra</i> Moench	Sinirsek		5-11	In marshy and muddy areas along the sea and lake shores, 0-1250 m.	No data	ARTH 18415
Plantaginaceae	<i>Veronica agalliss-aquatica</i> L.	Sugedemesi	LC	4-9	Wetlands, alpine meadows and hillsides	Appetizing, stimulating, burn treatment	ARTH 18133
Plantaginaceae	<i>Veronica beccabunga</i> L.	Atteresi		5-8	Wetlands, alpine meadows and hillsides	Treatment of scurvy, diuretic, menstrual flow promoter, antipyretic, laxative effect, treat blood rashes, impurity of blood, burns and ulcers.	ARTH 18136
Plantaginaceae	<i>Plantago maritima</i> L.	Sahil sinirliotu		5-8	In salty wetlands along lake and sea shores, 900-1700 m.	Laxative, soothing irritated membranes	ARTH 18132

Poaceae	<i>Cynosurus cristatus</i> L.	Tarakotu		5-8	Marshy areas	Catarrhal diseases of the bladder, Diuretic demulcent.	ARTH 18485
Poaceae	<i>Festuca drymeja</i> Mert. & W.D.J.Koch	Çalı yumağı		6-7	Marshy areas	No data	ARTH 18486
Poaceae	<i>Lolium perenne</i> L.	Çim		4-8	Grasslands, pastures, dunes, wastelands, 0-2050 m	Treatment of cancer, diarrhoea, haemorrhages and malaria	ARTH 18487
Poaceae	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	sert çim		4-9	Cereal grain fields, orchards, vineyards, and roadsides	No data	ARTH 18488
Poaceae	<i>Poa angustifolia</i> L.	Dar salkimotu		5-8	marshes, high steppe to low alpine vegetation	No data	ARTH 18489
Poaceae	<i>Poa diversifolia</i> (Boiss. & Balansa) Hack. ex Boiss.	Zarîf salkimotu		5-8	marshes, high steppe to low alpine vegetation	No data	ARTH 18490
Poaceae	<i>Poa masenderana</i> Freyn & Sint.	Pala salkimotu		5-8	marshes, high steppe to low alpine vegetation	No data	ARTH 18491
Poaceae	<i>Poa nemoralis</i> L.	Ormansalkımı		5-8	marshes, high steppe to low alpine vegetation	No data	ARTH 18492
Poaceae	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steudel	Kamış	LC	8-10	In freshwater and brackish wetlands and marshes along lakes, rivers, irrigation channels, and sea shores, 0-2000 m.	Diuretic, diaphoretic, blood purifier, preventive of gout, rheumatism, toothache, bronchitis, measles.	ARTH 18416
Poaceae	<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	Sürünücü yabani arpa		6-8	Open areas with moderate to high nutrient levels	Treatment of kidney, heart and cardiac diseases, Roots are antilogous, relaxing, sedative, central expectorant, emollient, lithotropic and tonic, Tea made from the roots is used for the duration of its requirement and deworming cystitis and urethritis.	ARTH 18417
Poaceae	<i>Elymus hispidus</i> (Opiz) Melderis subsp. <i>barbulatus</i> (Schur) Melderis	Tüylü yabani arpa		6-8	In low-salinity mud areas, approximately 905 m.	No data	ARTH 18418
Poaceae	<i>Eremopyrum orientale</i> (L.) Jaub. & Spach	Acentarağı		3-5	Brackish mud areas along lake shores, approximately 905 m.	No data	ARTH 18419
Poaceae	<i>Hordeum brevisubulatum</i> (Trin.) Link.	Morumsu arpa		6-8	Swampy areas along the water, at 1660 meters	No data	ARTH 18420
Poaceae	<i>Hordeum marinum</i> Huds.	Sahil arpası		5-6	Saline wetlands, 0-1600 m	No data	ARTH 18421
Poaceae	<i>Rostraria cristata</i> (L.) Tzvelev	Gagaotu		4-7	Brackish wetland soil, sea level.	No data	ARTH 18422
Poaceae	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P.Beauv.	Çayırşacı		6-8	Swampy meadows, 1050-1890 m.	No data	ARTH 18423
Poaceae	<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth	Bekarotu		6-7	Lake shores, wet meadows, 0-1990 m.	No data	ARTH 18424
Poaceae	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i> (Haller f.) Koeler	Sazçimi	LC	6-8	At the water's edge, 0-1660 m.	No data	ARTH 18425
Poaceae	<i>Calamagrostis stricta</i> (Timm) Koeler	Kamışotu		7-8	In wetland areas at the lake shore, ca. 1950 m	No data	ARTH 18426
Poaceae	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Tavusotu	LC	6-8	In wetlands at the lake shores, 0-2600 m	No data	ARTH 18427
Poaceae	<i>Zingeria pisdica</i> (Boiss.) Tutin	Burdur oyalsalkımı	LC	5-8	Swamps, ca. 1600 m.	No data	ARTH 18428
Poaceae	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	Kanyuş	LC	5-9	Swamps along lakes and streams, 0-1950 m.	No data	ARTH 18429
Poaceae	<i>Alopecurus arundinaceus</i> Poir.	Kamış tilikuyruğu	LC	4-8	Swamps, wet meadows, 800-1700 m.	No data	ARTH 18430
Poaceae	<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.	İnce tilikuyruğu		3-8	Swamps and water edges, 0-900 m.	No data	ARTH 18150
Poaceae	<i>Phleum pratense</i> L.	Çayır itkuyruğu		6-8	Marshy meadows, ca. 1890 m.	No data	ARTH 18431
Poaceae	<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. BR.	Dere tatlıçımı	LC	4-6	Along lake shores, 800-1000 m.	No data	ARTH 18432
Poaceae	<i>Eragrostis barrelieri</i> Daveau	Salkımyulaf		7-8	In muddy areas along water edges, ca. 1050 m.	No data	ARTH 18433
Poaceae	<i>Crypsis alopecuroides</i> (Piller Et Mitterp.) Schrader	Dere bakakotu	LC	7-9	Swamps, 10-70 m.	No data	ARTH 18434
Poaceae	<i>Crypsis schoenoides</i> (L.) Lam	Bakakotu	LC	4-9	Lake shores, 10-1950 m	No data	ARTH 18435
Poaceae	<i>Tragus racemosus</i> (L.) All.	Salkım dikençayır		5-9	On the muddy shores of hot spring lakes, ca. 370 m	No data	ARTH 18436
Poaceae	<i>Paspalum distichum</i> L.	Yalandarısı		6-10	Lake and stream shores, wetlands, and wet meadows, 0-400 m	No data	ARTH 18437
Poaceae	<i>Agrostis gigantea</i> ROTH	Kocatavusotu		7-8	In wetlands, 0-1500 m	No data	ARTH 18438
Poaceae	<i>Anthoxanthum odoratum</i> L. subsp. <i>alpinum</i> (A. & D. Löve) B. Jones & Melderis	Kokulu haşışe		4-5	In the marshy areas of clearings in Fagus orientalis forests, 1000-1300 m.	Anti-blood clotting, anti-spasmodic methods, treatment of rheumatic pain, insomnia in children, neurological insomnia.	ARTH 18439
Poaceae	<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.	Kınalı tilikuyruğu	LC	6-8	Marshes at the water's edge, 850-1900 m.	Antiphlogistic, depurative, diuretic	ARTH 18440
Poaceae	<i>Phleum alpinum</i> L.	Alp itkuyruğu	LC	6-8	In wetland areas at the lake shores, 1500-3175 m.	Treat digestive disorders, skin diseases, fever.	ARTH 18441
Poaceae	<i>Festuca arundinacea</i> Schreber	Yumakotu		6-7	Wet meadows and lake shores, 1000-1670 m.	Antibacterial, antioxidant, anticancer	ARTH 18442
Poaceae	<i>Catabrosa aquatica</i> (L.) P.Beauv.	Pınarotu		5-8	In lakes and slow-flowing rivers, in water bodies, 40-1950 m.	Stimulant, tonic	ARTH 18443
Poaceae	<i>Sclerochloa dura</i> (L.) P. Beauv.	Mıcırotu		5-6	In wetland areas along lake and spring shores, ca. 905 m.	Menstrual disorders	ARTH 18444
Poaceae	<i>Briza media</i> L.	Zembilota		5-8	Swamp, ca. 1500 m.	Fever, diarrhea, skin diseases.	ARTH 18445
Poaceae	<i>Briza minor</i> L.	Küçükzembil		5	Swamp areas, 0-30 m.	coughs, colds, fever.	ARTH 18446
Poaceae	<i>Arundo donax</i> L.	Kargı		9-10	Shorelines, 0-250 m.	Diaphoretic, diuretic, emollient galactofuge, stimulate menstrual discharge, diminish milk flow	ARTH 18447
Poaceae	<i>Eragrostis minor</i> Host	Küçük çayırüzeli		6-11	Hot water pools, lake shores, and wetlands, 0-2700 m.	Flu In the event of an epidemic	ARTH 18448
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Büyük ayrık		4-9	Freshwater wetlands, lake shores, 0-1950 m.	Anasarca, cancer, convulsions, cough, cramps, diarrhea, dropsy, dysentery, epilepsy, headache, hemorrhage, hypertension, hysteria, measles, rubella, snakebite, sores, stones, tumors, urogenital disorders, warts and wounds	ARTH 18153
Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. var. <i>villosus</i> Regel	Büyük ayrık		5-9	Freshwater wetland areas along the shores, 0-1400 m.	Anasarca, cancer, convulsions, cough, cramps, diarrhea, dropsy, dysentery, epilepsy, headache, hemorrhage, hypertension, hysteria, measles, rubella, snakebite, sores, stones, tumors, urogenital disorders, warts and wounds.	ARTH 18449
Poaceae	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.	Darıcan	LC	6-10	In mud areas along stream banks, wetlands, and rice fields, 0-1800 m	Spleen disease, preventative and tonic, carbuncles, haemorrhages, sores, spleen trouble, cancer, wounds.	ARTH 18450
Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i> L.	Labada		5-8	In wetlands and along lake shores, 70-1150 m.	It prevents stomach and intestinal complaints, is a bile remover, antipyretic, boil-ripening, blood, cleansing the intestines, reducing itching, preventing wounds and eczema	ARTH 18451
Polygonaceae	<i>Rumex pulcher</i> L.	Ekşilik		5-7	Lake shores, wetlands, marshy areas, and shallow waters, 0-1150 m	No data	ARTH 18163
Polygonaceae	<i>Polygonum persicaria</i> L.	Söğütotu		6-12	Lake shores, wetlands, and irrigation channels, 0-1700 m.	No data	ARTH 18452
Polygonaceae	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre.	Su biberi	LC	6-8	At lake shores, at sea level.	Hemorrhoids, antifertility, diarrhea, dyspepsia.	ARTH 18453
Polygonaceae	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre.	Tırşon		6-9	At lake shores, wetlands, and irrigation canals, 0-1150 m.	Antibacterial, antiviral, anti-inflammatory astringent, antiseptic, anti-stomach complaint, hepatoprotective, antifungal uses in addition to its use for the treatment of dysentery, burns, fevers	ARTH 18454
Polygonaceae	<i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre.	Yerdeğıştiren	LC	6-9	In lakes or along lake shores, saline water lagoons, and irrigation canals, 0-2000 m.	Stomach pains and children with diarrhoea, chest colds	ARTH 18455
Polygonaceae	<i>Persicaria bistorta</i> (L.) Samp.	Çimen eveleşti		5-9	Shorelines, wet meadows	Diarrhea, abdominal pain, bleeding.	ARTH 18456
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton lucens</i> L.	Tel süşümbülü	LC	4-7	Lakes, puddles, slow-flowing streams, water channels, 0-2000 m	No data	ARTH 18457

Potamogetonaceae	Potamogeton gramineus L.	Çim susımbülü	LC	5-7	In lakes and rivers, 10-2600 m	No data	ARTH 18458
Potamogetonaceae	Potamogeton perfoliatus L.	Sarıcı yapraklı susımbülü	LC	4-8	In lakes and deep waters, 0-2000 m	No data	ARTH 18459
Potamogetonaceae	Zannichellia palustris L.	Sukılı	LC	4-9	Fresh and saline waters, lakes, puddles, rivers, and canals, 0-1660 m.	No data	ARTH 18460
Potamogetonaceae	Potamogeton natans L.	Suotu	LC	5-8	Lakes, puddles, 70-2000 m.	Stomach cramps, diarrhea, antiscorbutic, wound healing	ARTH 18461
Potamogetonaceae	Potamogeton nodosus Poiret	Düğmeli suotu	LC	4-8	Lakes, rivers, and water channels, 0-1150 m	Cancer, tuberculosis, acne, common cough, cold, wounds and abdominal discomfort	ARTH 18462
Potamogetonaceae	Potamogeton crispus L.	Susımbülü	LC	4-8	In lakes and channels, 0-1150 m.	Immunity-regulation and tumour proliferation-slowing, colourants and antioxidants in food additives, cancer treatment	ARTH 18463
Potamogetonaceae	Stuckenia pectinata (L.) Börner	Tarakçı susımbülü		4-9	In freshwaters, brackish lagoons, and puddles, 0-1600 m.	Treatment of a feverish liver	ARTH 18464
Potamogetonaceae	Groenlandia densa (L.) Fourr.	Suteleği	LC	5-9	In streams, springs, water edges, and typically flowing waters, 40-1660 m.	Arthritis, rheumatism, menstrual cramps.	ARTH 18465
Primulaceae	Lysimachia vulgaris L.	Adi kargaotu	LC	4-9	In wetlands, 0-1850 m	Poisonous, against insect bites, soothing the stomach.	ARTH 18466
Primulaceae	Lysimachia verticillaris Spreng.	Hilal kargaotu		7-8	Meadows	Cough and bronchitis	ARTH 18493
Ranunculaceae	Caltha palustris L.	Lilpar		4-7	At the edges of lakes and wetlands, 1000-1140 m.	Blood strengthener, against internal diseases. poisonous plant	ARTH 18467
Ranunculaceae	Ranunculus caucasicus subsp. subleocarpus (Sommier & Levier) P.H.Davis	Sarıyaraotu			wetlands	No data	ARTH 18494
Ranunculaceae	Ranunculus lateriflorus DC.	Yamuk çımkotu	LC	4-5	In marshy and muddy environments, 0-1300 m	No data	ARTH 18468
Ranunculaceae	Ranunculus repens L.	Tıktakdana		5-7	In wetlands and marshy meadows, 0-2600 m	Analgesic, a skin irritant, treat wounds, muscle aches, rheumatic pain.	ARTH 18194
Rosaceae	Geum urbanum L.	Meryemotu		5-7	In wet, shaded meadows along lakes and water edges, 0-1700 m.	Astringent herb, mouth, throat and gastro-intestinal tract.	ARTH 18227
Rosaceae	Potentilla reptans L.	Beşparmakotu		5-8	In wet and marshy meadows along lake shores, 0-1990 m.	Shows moderate antimicrobial activity against wound pathogens	ARTH 18237
Rosaceae	Geum coccineum Sibth. & Sm	Alkırmızı karanfilotu		5-7	In mud areas along water edges, 1200-1400 m	No data	ARTH 18225
Rosaceae	Filipendula ulmaria (L.) Maxim.	Çayırkıralıçesi	LC	5-8	At the lake shores, in the wet meadows along the water edges, around 1500 m.	Reduces swelling	ARTH 18469
Rosaceae	Comarum palustre L.	Bataklık parmakotu		5-7	At the lake and swamp shores, around 1500 m.	Anti-inflammatory, antibacterial, diuretic, diaphoretic, temperature-reducing, bleeding-stopping, pain-relieving, hypotensive properties, anti-tumor plants	ARTH 18470
Rosaceae	Potentilla anserina L.	Kaz parmakotu		5-8	In wetlands along lake and river banks, 2000-2600 m.	Infectious diarrhea with fever, roots and rhizomes are applied as an antiseptic remedy	ARTH 18471
Rosaceae	Geum rivale L.	Su karanfilotu		5-7	In wet meadows and wetlands along water edges, 1250-3000 m.	Treating children with dysentery, coughs or colds.	ARTH 18226
Rubiaceae	Galium palustre L.	Su ıplıkçığı	LC	5-7	In wetlands, 0-1200 m.	Treat wounds, to help stop bleeding	ARTH 18472
Scrophulariaceae	Limosella aquatica L.	Su çamurotu		3	In mud areas at the edges of water bodies, 0-2900 m.	No data	ARTH 18473
Tamaricaceae	Tamarix tetrandra Pall. Ex Bieb.	Gezik	LC	3-5	Lake shores, slightly salty wetlands, environments where water recedes in summer, and drainage channels, at sea level.	Gastro-intestinal disorders, wounds, diabetes, dental problems.	ARTH 18302
Tamaricaceae	Tamarix smyrnensis Bunge	İlgin		3-7	Lake, river, canal edges, slightly salty wetlands, and coastal wetlands, 0-1990 m.	No data	ARTH 18301
Typhaceae	Typha shuttleworthii W.D.J.Koch & Sond.	Puf Sazi		6-10	Lake, river, irrigation channels, aquatic areas, and wetlands, 40-1660 m	No data	ARTH 18474
Typhaceae	Typha laxmannii Lepech.	Papur		6-10	Lake, river, and water channels, 0-1660 m.	No data	ARTH 18475
Typhaceae	Sparganium erectum L.	Kozakamışı		5-8	Lake and river shores, wetlands, and water channels, 0-1850 m.	No data	ARTH 18476
Verbenaceae	Verbena officinalis L.	Tıbbi minceçeği		6-8	In wetland and mud areas along lake shores, 0-1660 m.	Diuretic, expectorant and antirheumatic, anti-inflammatory, analgesic, antioxidant	ARTH 18312

As a result of the study, when the distribution of taxa by families was examined, 45 taxa from Poaceae (Grass family), 43 taxa from Cyperaceae (Sedge family), 9 taxa from Lamiaceae, 9 taxa from Onagraceae and Potamogetonaceae, 8 taxa from Orchidaceae, Polygonaceae, and Brassicaceae, and 7 taxa from Plantaginaceae, Juncaceae, Asteraceae, and Rosaceae were identified (Figure 2).



Figure 2. Family wise distribution hydrophyte plants in Artvin.

When the hydrophyte plant species were categorized according to their habitats, it was found that 160 species are Wetland hydrophytes, 56 species are Amphibious hydrophytes, 2 species are Free-floating hydrophytes, 10 species are Fixed-floating hydrophytes, and 8 species are Submerged hydrophytes (Figure 3).

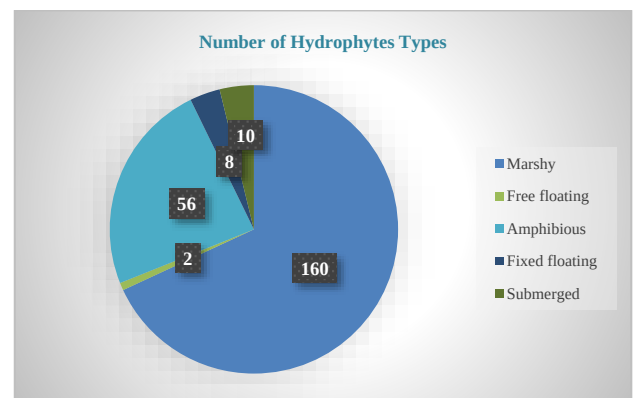


Figure 3. Family wise distribution hydrophyte plants in Artvin.

One of the hydrophyte species, *Lindernia procumbens* (Krock.) Philcox is distributed naturally the temperate to tropical zones of Eurasia, and included in the

Annex IV of the 92/43/EEC “Habitat” Directive and Annex I of Bern Convention. The species is in the LC (Least Concern) category according to IUCN lists. However, they are a species that is under threat due to human activities and their widespread distribution in agricultural areas.



Figure 4. Hydrophyte insectivorous plant; *Drosera rotundifolia* L.

The insectivorous plant species *Drosera rotundifolia*, which occurs in the area, has been recorded in this region (Figure 4). The local people use 112 hydrophyte plant species to treat various human diseases. Among the hydrophytic plant species in Artvin, 96 were identified as LC (Least Concern), 1 as DD (Data Deficient), 1 as NT (Near Threatened), and 1 species was found to be subject to the BERN Convention (Table 1) (IUCN, 2024)



Figure 5. Fixed floating hydrophytes a-*Hydrocotyle ramiflora* Maxim. b-*Nasturtium officinale* W.T.Aiton.

Herbal medicines have long been considered more effective and beneficial worldwide compared to synthetic drugs, especially antibiotics. Behera and Satapathy, (2020) reported on approximately 45 plant species used to treat various ailments. Among these, hydrophytes with medicinal properties include *Trapa natans* (with antidiabetic, antibacterial, and neuroprotective effects), *Nymphoides indica* (with anticonvulsant, antioxidant, hepatoprotective, cytotoxic, antitumor, and antimicrobial effects), and *Lippia javanica* (with anticancer, antiamoebic, antidiabetic, antimalarial, antioxidant, and antiviral properties). These plants are reported to possess potent curative properties.



Figure 6. Some hydrophytes; a- *Potamogeton natans* L. (fixed floating) b-*Lemna minor* L. (free floatig).

Atamov et al., (2017) conducted a field study between 2013 and 2015 to reveal the plant diversity in Azerbaijan's aquatic ecosystems. The study identified a total of 502 taxa from 62 families and 208 genera. The number of species identified accounted for 11.2% of Azerbaijan's total plant species. The most frequently encountered families in this study were Poaceae, Cyperaceae, Ranunculaceae, Fabaceae, and Potamogetonaceae, similar to the findings of other similar research.



Figure 7. Some marshy hydrophytes; a- *Swertia iberica* Fisch. ex C.A.Mey. b- *Butomus umbellatus* L.

Aksoy et al., (2023) conducted field studies in 2022 in the aquatic habitats of Bolu Yedigöller National Park, Kargalı Gölçük, and Göksu Nature Parks to track plant species and identify threats. The study identified natural and foreign plant taxa in the lakes and coastal areas. In Yedigöller National Park, 37 taxa from 25 families and 35 genera were identified, in Kargalı Gölçük Nature Park, 8 taxa from 6 families and 6 genera, and in Göksu Nature Park, 18 taxa from 12 families and 14 genera. Similarly, Jhan, (2022) identified 40 plant species of economic importance in 10 aquatic areas in the Nadia region of India. Of these, 38 species were Angiosperms and 2 were Gymnosperms. It was noted that 38 of these plants were used for 49 different diseases in traditional medicine.



Figure 8. *Cardamine raphanifolia* Pourr. near the wetland

Behera and Satapathy, (2021) conducted a study on the diversity and distribution of aquatic plants in the Odisha state of India. In their study, they identified 211 hydrofit plant species from 61 families and 135 genera across 10 different aquatic sites. The aquatic plants were categorized based on their habitat preferences. Marshy hydrophytes had the highest diversity with 131 species, followed by amphibious hydrophytes with 38 species, free-floating hydrophytes with 11 species, submerged hydrophytes with 15 species, and fixed-floating hydrophytes with 9 species. The study revealed that the Poaceae family was the most dominant with 42 species. Other notable families included Cyperaceae with 34 species, Scrophulariaceae with 11 species, Asteraceae with 10 species, Hydrocharitaceae and Commelinaceae with 6 species each, Fabaceae with 5 species, and Alismataceae, Nymphaeaceae, Polygonaceae, and Onagraceae each with 4 species. Kocabaş et al., (2020) conducted a flora study in Kahramanmaraş, where they identified 109 aquatic plant taxa from 30 families and 62 genera. The families with the highest number of aquatic plant taxa in the region were as follows: Poaceae (21 species), Asteraceae, Cyperaceae, and Polygonaceae (8 species each), Onagraceae (6 species), and Lamiaceae, Rosaceae, and Scrophulariaceae (5 species each). Other families such as Fabaceae, Gentianaceae, Plantaginaceae, and Tamaricaceae were represented by 4 species each.

This study provides important baseline data for the conservation of the biological richness of the region by revealing the hydrophyte plant diversity, seasonal variations, and medicinal potential of Artvin province and its districts.

CONCLUSION

Hydrophyte plants occupy different ecological niches in aquatic environments. While these species are of great importance for ecosystems and human life, they face various challenges. These problems stem from both natural factors (changing climate, e-commerce and invasins.,

expanding hydropower, emerging contaminants...) and human activities (organic pollutants, infectious disease agents, pesticides, solid wastes). Issues such as global warming, climate change, pollution, and invasive species have affected the distribution and population sizes of aquatic plants. Some conservation strategies are recommended such as using remote sensing and development of Probalistic Support Vector Machines (SVM's) model assisted with the GIS technique to study habitat fragmentation and eutrophication.

This study presents data on the hydrophyte plant diversity, identification, habitat information, and local medicinal-aromatic uses of aquatic plants in Artvin province, which contains some of the most natural areas of our country. The data obtained from this study will be highly valuable for future taxonomic and environmental management research, particularly in areas affected by water pollution due to road, dam, and mining activities in Artvin. The study also reveals that 126 hydrophyte plant species found in Artvin have medicinal and aromatic properties, making them economically significant. These species could potentially be collected from the field or cultivated to create value-added products.

This study provides a comprehensive, field-based dataset on the distribution of wetland plants in the region, addressing the knowledge gaps in the Eastern Black Sea region, and having broader implications for wetland management policies and practices. Unfortunately, wetlands in the study area are under significant pressure due to factors such as population growth, overgrazing, deforestation, and construction of buildings and roads. The filling of these water bodies is leading to a loss of hydrofit species diversity. Therefore, it is essential that these wetlands be properly conserved and effectively protected from anthropogenic degradation.

REFERENCES

- Aksoy, N., Koçer, N., Güneş Özkan, N., Müderrisoğlu, H. & Eroğlu, E. (2023). Yedigöller milli parkı, kargalı gölcük ve göksu tabiat parklarındaki doğal sucul bitki türlerine yönelik tehditlerin belirlenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2), 41-55.
- Anonim. (1999). *Environmental profile of Turkey*. Environmental foundation of Turkey, No: 132, Ankara, 268s.
- Anonim. (2000). *Çevre Bilimi, Sürdürülebilir Çevre*. Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Yayınları No:1, Bornova, İzmir, 498s.
- Atamov, V., Musayev, M. & Cabbarov, M. (2017). Azərbaycan'ın sucul orman birlikleri. *Journal of Anatolian Environmental & Animal Sciences*, 2(2), 23-28.

- Behera, B. & Satapathy, K.B. (2020).** Hydrophytic flora of our environment: Their ethnic uses and pharmacological evaluation. *International Journal of Botany Studies*, 5(3), 23-31.
- Behera, B. & Satapathy, K.B. (2021).** Diversity and distribution of aquatic plants in Khordha, Odisha, India. *Amient Science*, 8(2), 70-73.
- Biswas, K. & Calder, C.C. (1937).** *Handbook of common water and marshy plants of India and Burma*. Delhi: Govt. Press, 1937.
- Bizimbitkiler. (2020).** Bizimbitkiler. <https://www.bizimbitkiler.org.tr/v2/turkce.php#> (29 Ağustos 2024).
- Cook, C.D.K. (1996).** *Aquatic Plants of the World: A Field Guide*. Springer Science & Business Media.
- Cowardin, L. Carter, M., Golet, V.F.C. & LaRoe, E.T. (1979).** *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC, USA. FWS/OBS-79/31. <http://wetlands.fws.gov/PubspReports/ClasspManu al/classptitlepg.htm>
- Davis, P. (1965-1985).** *Flora of Turkey*. Volume 1-9. Edinburgh University Press.
- Davis, P.H., Mill, R.R. & Tan, K. (ed.) (1988).** *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Volume 10 (Supplement), Edinburgh University Press.
- Eminağaoğlu, Ö. & Özcan, M. (2014).** Systematics of *Sisyrinchium angustifolium* Mill Iridaceae A Newly Recorded Species From Turkey. *Bangladesh Journal Of Plant Taxonomy*, 21(2), 175-180. DOI: 10.3329/Bjpt.V21i2.21357
- Eminağaoğlu, Ö. (2005).** Şavşat (Artvin) Yöresinin Tıbbi ve Ekonomik Bitkileri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 55(1), 87-111.
- Eminağaoğlu, Ö. (1994).** *Şavşat ilçesi Karagöl-Sahara milli parkı ve çevresinin flora ve vejetasyonu*. PhD Thesis, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 283s.
- Eminağaoğlu, Ö. (Ed.) (2015).** *Artvin'in doğal bitkileri (Native Plants of Artvin)*, İstanbul: Promat, 456p. ISBN:978-605- 030- 854-9 (in Turkish).
- Eminağaoğlu, Ö., Akyıldırım Beğen, H. & Aksu, G. (2015).** Artvin'in damarlı bitkilerinin fotoğrafları. Şu Eserde: Eminağaoğlu Ö (ed) (2015). *Artvin'in Doğal Bitkileri*. İstanbul: Promat, 456p.
- Eminağaoğlu, Ö., Göktürk, T. & Akyıldırım Beğen, H. (2017).** Traditional uses of medicinal plants and animals of Hatila Valley National Park, Artvin. *Biological Diversity and Conservation*, 10(3), 26-35.
- Eminağaoğlu, Ö., Akyıldırım Beğen, H., Salioğlu, Ş., Açıkgöz Harşit, C., Aslan, B., Tekiner Aydın, N., Yazıcıoğlu, E., Özcan, M., Erşen Bak, F. & Durmaz, A. (2023).** Artvin'in bazı tıbbiaromatik bitkilerinin içerik ve kullanım alanları, s. 317-356. Şu eserde: Eminağaoğlu Ö (Ed), *Artvin'in Tıbbi-Aromatik Bitkileri*, Artvin: Zafer Medya.
- Eminağaoğlu, Ö. (2023).** *Artvin'in Tıbbi-Aromatik Bitkileri (Medicinal-Aromatic) Plants of Artvin*, Artvin: Zafer Medya, 380p
- Eminağaoğlu, Ö. & Akyıldırım Beğen, H. (2024).** *Sisyrinchium micranthum* (Iridaceae), a New Alien Record from Türkiye. *Cumhuriyet Science Journal*, 45(4), 713-717. DOI: 10.17776/cs.j.1555542
- Greb, S.F., DiMichele, W. & Gastaldo, R.A. (2006).** Evolution and importance of wetlands in earth history. *Geological Society of America*, 399(Special Papers), 1-40.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. & Babaç, M.T. (Eds.) (2012).** *Türkiye bitkileri listesi: (Damarlı bitkiler)*. Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi Yayınları, 1290s.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim, T. & Başer, K.H.C. (2000).** *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Vol. 11, (Supplement-2), Edinburgh: Edinburgh University Press.
- IUCN. (2024).** The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. Available at: www.iucnredlist.org (Accessed: 11 November 2024).
- Jhan, T. (2022).** Economically important aquatic plants of nadia district, West Bengal, India. *Plant Archives*, 22(1), 403-409.
- Kocabaş, Y.Z., Topal, F. & Sarı, A. (2020).** Kahramanmaraş florası sucul bitkileri. *Doğanın Sesi*, 3(5), 3-12.
- Korkmaz, H. & Mumcu, Ü. (2013).** Türkiye sulak alan vejetasyonunun genel floristik ekolojik ve fitososyolojik özellikleri. II. *Ulusal Sulak Alanlar Kongresi*, 23 -25 Ekim 2013, Samsun, Türkiye, 1-12s.
- Lavania, G.S., Paliwal, S.C. & Gopal, B. (1990).** Aquatic vegetation of the Indian subcontinent; p. 29-78. In E. Gopal (ed.). *Ecology and management of the Aquatic Vegetation of the Indian Subcontinent*. Dordrecht: Kluwer Academy Publishers.
- Maliya, S.D. (2006).** The aquatic and wetland flora of Mainpuri district, U. P. India. *Journal of Economic & Taxonomic Botany*, 30(3), 533-546
- National Library of Medicine (2024).** Hydrophyte plant species. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/>, (10 September 2024).
- Natural Herbs (2024).** Medicinal Herbs. <https://www.naturalmedicinalherbs.net/>, (12 November 2024).
- Sarpdağ, F. & Eminağaoğlu Ö. (2020).** Erzurum Marshes (Yakutia Erzurum, Turkey) Flora. *Turkish Journal of Biodiversity*, 3(2), 69-84. DOI: 10.38059/Biodiversity.770263
- Seçmen, Ö. & Leblebici, E. (1991).** Aquatic flora of Thrace (Turkey). *Willdenowia*, 20, 53-66.
- Seçmen, Ö. & Leblebici, E. (1997).** Türkiye sulak alan bitkileri ve bitki örtüsü. *Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları*, 158, 700.
- Sukumaran, S. & Jeeva, M. (2011).** Angiosperm flora from wetlands of Kanyakumari district, Tamilnadu, India. *Check List*, 7(4), 486-495.
- Tırlı, A. (2006).** *Sulak Alanlar*. Oran Yayınları, İzmir, 167s.
- Wildflowerweb (2024).** Habitat: Water. <http://www.wildflowerweb.co.uk/plants/38/water>, (5 November 2024).



Should Nest Construction Be Intervened in Domestic Bird Breeding?

Arda Onur ÖZKÖK^{1*} Gözde KILINÇ²

¹Department of Veterinary, Suluova Vocational School, Amasya University, Amasya, Turkey

²Department of Food Processing, Suluova Vocational School, Amasya University, Amasya, Türkiye

Received: 14.01.2025

Accepted: 13.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Özkök, A.O. & Kılınç, G. (2025). Should Nest Construction Be Intervened in Domestic Bird Breeding? *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(2), 126-131. <https://doi.org/10.35229/jaes.1619540>

Atf yapmak için: Özkök, A.O. & Kılınç, G. (2025). Evcil Kuş Yetiştiriciliğinde Yuva Yapımına Müdahale Edilmeli mi? *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(2), 126-131. <https://doi.org/10.35229/jaes.1619540>

* : <https://orcid.org/0000-0001-9932-3608>
 : <https://orcid.org/0000-0002-8667-3390>

***Corresponding author's:**

Arda Onur ÖZKÖK
Department of Veterinary, Suluova Vocational
School, Amasya University, Amasya, Turkey
✉: arda.ozkok@amasya.edu.tr

Abstract: It is aimed to get as many offspring as possible from domestic songbirds during the breeding season. However, the insufficiency of the nest material used during nest construction and the individual abilities of the birds in nest construction directly affect the success of the breeding season. This study evaluates the nests built by two groups of female Gloster canaries using the same nest material, as well as the effects on the hatching rates of fertile eggs and the development of offspring. For this purpose, 8 female canaries were involved in this study, 4 in the 1st group (T-1) and 4 in the 2nd group (T-2). After artificially inseminating the female birds showing the signs of estrus, the hatching rates of the eggs were examined. No intervention was performed during the nest construction in Group T-1, whereas the nests of Group T-2 were intervened during the construction process, and the hatching rates of fertile eggs were observed. It was determined that the group T-2 was more successful than the group T-1. It may be possible to obtain more offspring by eliminating the deficiencies observed in the nests of the birds during nest construction to a certain extent. This study aims to determine the effects of interventions made to the nests of female birds inseminated under equal conditions on the incubation process and the hatching rate.

Keywords: Artificial insemination, canary bird, nest material, nest intervention.

Evcil Kuş Yetiştiriciliğinde Yuva Yapımına Müdahale Edilmeli mi?

Öz: Üreme mevsiminde evcil ötücü kuşlardan mümkün olduğunca çok yavru elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ancak yuva yapımında kullanılan yuva malzemesinin yetersizliği ve yuva yapımında kuşların bireysel yetenekleri üreme mevsiminin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada aynı yuva malzemesini kullanarak iki grup dişi Gloster kanaryasının yaptığı yuvalar değerlendirilmiş, döllenmiş yumurtaların çıkış oranları ve yavruların gelişimi üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla 1.grupta (T-1) 4, 2.grupta (T-2) 4 olmak üzere toplam 8 adet dişi kanarya kullanılmıştır. Kızgınlık gösteren dişi kuşlar suni tohumlama ile tohumlanarak yumurta çıkış oranları değerlendirilmiştir. T-1 grubundaki yuvalara yuva yapımı sırasında müdahale edilmemiş, T-2 grubundaki yuvalara ise yuva yapımı sırasında müdahale edilmiş ve döllenmiş yumurtaların çıkış oranları gözlenmiştir. T-2 grubunun T-1 grubuna göre daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Yuva yapımı sırasında kuşların yuvalarında gözlenen eksikliklerin belli bir oranda giderilmesiyle daha fazla yavru elde edilmesi mümkün olabilir. Bu çalışmanın amacı eşit şartlarda tohumlanan dişi kuşların yuvalarına yapılan müdahalelerin kuluçka süreci ve yumurtadan çıkma oranına olan etkilerini belirlemektir.

Anahtar kelimeler: Kanarya, yuva materyali, yuva müdahalesi, suni tohumlama.

INTRODUCTION

It is well known that nest construction is crucial for the successful reproduction of many bird species (Healy et al., 2023). Birds inhabiting different environments have developed a wide range of architectural nest designs in line

with the conditions of their habitats (Jessel et al., 2019). Previous observations suggest that the quality of nest construction is shaped by the bird's habitat, life experiences, and individual behavior (Healy et al., 2023). The thermal insulation and temperature variations within the nest may vary depending on the properties of the materials used in nest

construction and the individual skill of the bird during the building process (Lamprecht & Schmolz, 2004). Even though nests vary in shape and size among different bird species, they must be structured in a way that ensures the survival of the offspring despite environmental challenges, thereby maximizing hatching success and the healthy growth of the hatchlings (Biddle et al., 2019). It was reported that some bird species prioritize not only thermal insulation but also the color of the nest materials as a means of camouflage against predators, in harmony with their environmental conditions (Mayer et al., 2009). Birds may use different nesting materials based on the climate and habitat in which they reside. In addition to serving as structural components, these materials may provide various benefits, such as antibacterial or antiparasitic properties (Bach et al., 2022). The type and quantity of materials used in nest construction are closely related with the nest's functionality, particularly its role in ensuring a successful incubation period (Deeming, 2023). The materials selected for nest construction vary based on geographical location, ambient temperature, and the availability of materials in the environment. Even though this variation differs across bird species, it still is an important factor in supporting the development of offspring throughout the incubation period (Biddle et al., 2018). The selection and physical properties of nesting materials influence nest construction, which in turn affects hatching success and chick development indirectly. Therefore, the characteristics of the materials used in building the nests are very important (Breen et al., 2021). Furthermore, the permeability of the nest walls to water vapor in the environment was determined to be directly related to eggshell conductivity, egg mass, and incubation duration (Deeming, 2011).

Even though it is not precisely known which criteria birds use when constructing nests, it is thought that, in addition to instinctive knowledge, learning also plays a role in nest-building behavior (Walsh et al., 2013). Bird species exhibit not only individual skills but also the capacity to learn while building nests. Moreover, they have specialized in selecting materials in line with the physiological needs of the nest (Tello-Ramos et al., 2022). Birds choose the necessary materials for nest construction from those available in their environment, because material availability varies across different regions. This behavioral pattern may be acquired either individually or through social learning from other bird communities (Mennerat et al., 2009). In a study conducted on a songbird species, no significant temperature differences were observed depending on the size of the nest. Consequently, it was suggested that the size of the nest is determined entirely by the bird's individual preference (Sonnenberg et al., 2020).

This study aims to determine the effects of interventions made to the nests of female birds inseminated

under equal conditions on the incubation process and the hatching rate.

MATERIAL AND METHOD

Ethics Committee Permission: This study was approved by the Ondokuz Mayıs University Animal Experiments Local Ethics Committee (2024-49).

Experimental Plan: Eight female Gloster Canaries were used in this study. Each canary was housed individually in breeding cages (60×40×50 cm). A photoperiodic light cycle of 16 hours of light and 8 hours of darkness was applied to induce sexual stimulation (Chiver et al., 2022). Since some male birds may disrupt the nest, no male canary was housed alongside the females.

Semen Collection and Evaluation of Spermatological Parameters: Sperm collection was performed using the cloacal massage method (Cramer et al., 2021). These semen samples were immediately diluted at a 1:1 ratio with Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) and then examined for relevant sperm parameters. Freshly diluted semen from each bird was evaluated under a microscope heated to 38°C at 20× magnification. The sperm samples collected from male birds were evaluated in terms of total motility, abnormal spermatozoa rate, and sperm concentration. Birds that did not meet the criteria of >70% motility, <10% abnormal spermatozoa, and >80% viability were excluded from the study. The average sperm concentration of the sampled birds was determined to be in the range of 85×10^6 to 90×10^6 .

Determination of Motility: Sperm motility assessment was conducted twice at different time points for each bird. Following the sperm collection, sperm motility and kinematic parameters were analyzed using a Computer-Assisted Sperm Analysis (CASA) system (SCA®, Microptic, Barcelona, Spain). The CASA system was supported by a negative phase contrast microscope with a heated stage (Nikon Eclipse, Tokyo, Japan). Total sperm motility (%) and motile sperm concentration parameters were evaluated by analyzing at least five microscopic fields using the software system (Yang et al., 2019).

Evaluation of Spermatozoa Morphology: The Gloster canary produces an average of 2 µL of semen. After the semen sample was transferred to 20 µL of Phosphate Buffered Saline (PBS) solution containing 5% formaldehyde, 10 µL of sperm sample was spread on the slide and left to dry at a 45-degree angle. After drying, the slide was immersed in a jar containing SpermBlue dye and left for 2 minutes. After the slide was stained with SpermBlue, it was left to dry. After the drying process, the slide was washed superficially with distilled water, and morphological abnormalities were evaluated (Esin et al., 2023). The abnormal spermatozoa rate was evaluated in

terms of bent or missing flagellum, multiple flagellum, and abnormal head formations at $40 \times$ magnification (Cramer et al., 2019).

Determination of Sperm Vitality Rate: Semen samples were thawed in a water bath at 37°C and gently mixed with eosin-nigrosin stain at a 1:1 ratio. The sample was then spread onto a slide and immediately air-dried. At least 200 spermatozoa were counted at $400\times$ magnification. Partially or fully stained spermatozoa were classified as dead, whereas unstained spermatozoa were considered viable (Bakst & Cecil, 1997).

Determination of Sperm Density: The hemocytometric method was employed to determine sperm concentration in this study. The Gloster canary is a small-sized bird, producing an average semen volume of approximately $2 \mu\text{L}$. The sperm density per mL was calculated using the standard avian sperm concentration assessment method (Bakst & Cecil, 1997). The average number of spermatozoa (5 squares were counted in each section in the hemocytometer, and the number found was divided by the number of squares counted) was $\times$ Dilution rate of $\times 10^4$.

Artificial Insemination: Semen obtained from canaries that met the required sperm quality parameters was used for artificial insemination without dilution. No contaminated semen was used for insemination (Özkök, 2022). When the female canary started building a nest, insemination was performed every two days until the first egg was laid. The nest-building process was observed to be completed within 3-6 days, while egg-laying occurred 1-3 days after the completion of the nest. The room temperature was maintained at $22\text{-}25^{\circ}\text{C}$, and relative humidity was kept at 60-65%.

Nest material: Three types of nesting materials were used in this study: flax fiber, sisal fiber, and hemp. To standardize all nests, flax fiber was provided first. After the primary nest structure was completed, sisal fiber was introduced, followed by hemp. No intervention was performed on the nests until the egg-laying process was completed. The nests were left undisturbed in T-1, whereas modifications were made after nest construction was completed in T-2. These modifications included compressing the nest, reinforcing incomplete nest walls with flax fiber, and adjusting the nest base.

Collecting eggs: The eggs were collected every morning starting from the first laid egg and replaced with artificial eggs. The collected eggs were numbered and stored. Once all eggs had been collected, the real eggs were placed back into the nests of the birds in the first group without any intervention. In the second group, the real eggs were placed in the nests after the nesting structure had been adjusted. On the 8th day, the eggs were examined using a light source to determine fertilization status, and the

fertilized eggs were recorded. This study focused solely on the hatching rates of fertilized eggs. Employing the data obtained, the following formula was used to calculate the hatching rate for each group:

$$\text{Egg hatching rate (\%)} = \frac{\text{Number of Hatching}}{\text{Number of Fertile Eggs}}$$



Figure.1 Different nest materials (fiber yarn, hemp, linen rope).

Statistical Analysis: Differences between groups were made with the independent t-test. SPSS 20.0 package program was used for this purpose. The effects (significance) of the groups were evaluated at $p < 0.05$ level (IBM., Corp., 2011).

RESULTS

The collected data were analyzed based solely on fertilized eggs. The nests were left untouched in the T-1 group, whereas the nests were inspected during the nest-building process, and observed deficiencies were corrected in the T-2 group. The main interventions involved compressing the nest base, completing the sidewalls, and adjusting the nest height. The eggs were removed from the nests and replaced with artificial eggs until egg-laying was complete. Once the laying process was finished, the original eggs were returned to the nests. On the 8th day, the eggs were checked with a light source, and fertilized eggs were recorded. The hatching rates of healthy chicks were compared between the two groups. There was a significant difference in hatching rates between the intervention and non-intervention groups ($p < 0.05$). The hatching rate of fertilized eggs was higher in the intervention group (0.68) (Table 1). In the T-1 group, the primary factors affecting hatching success were disruptions in egg rotation, which led to hatching failures, and early embryonic mortality due to irregular heating.

Table.1 Hatching rates in uninterrupted and intervened nests.

Groups	Hatching Rate (%)
T-1	$\%41 \pm 0.060$
T-2	$\%68 \pm 0.105$
P	0.047
T-1. No intervention	T-2. Intervention



Figure. 2 Examples of intervened nests.



Figure.3 Uninterrupted nests

DISCUSSION

Previous studies demonstrated that nest structure directly influences reproductive success in birds. Moreover, the ability to construct a nest is influenced by a bird's individual skills, life experiences, and environmental conditions.

Even though the specific criteria birds use for nest-building are not known, it is thought that in addition to instinctive knowledge, birds can also learn certain aspects of nest construction (Walsh et al., 2013). Bird species specialize in selecting nesting materials that meet their physiological needs (Tello-Ramos et al., 2022). Since nesting materials vary by region (Mennerat et al., 2009), nest-building appears to be shaped by individual abilities, life experiences, and environmental factors. The present study revealed that each bird exhibited different nesting capabilities, which in turn affected incubation success. A long-term study on nonett birds examined over a thousand nests over a decade, analyzing nest height, width, and

materials used. The study concluded that genetic inheritance plays a minimal role in nest-building behavior among nonetts (Järvinen et al., 2017). There is no available data on the nesting success of the parents of the birds used in the present study or on how nest-building traits may have been genetically transmitted. However, it was observed that birds provided with the same nesting materials tended to build similar nests. Furthermore, birds whose nests were adjusted during this study built subsequent nests with similar structural features. Another key finding was that as the duration of the nesting process increased, the amount of nesting material also increased, leading to greater nest height, inner width, and nest wall thickness. A higher accumulation of soft nesting material at the nest base disrupted the routine rotation of eggs during incubation, leading to embryo mortality due to embryos adhering to the eggshell. On the other hand, when the nesting process was shortened, inadequate nest construction led to heat loss, potentially increasing embryo mortality. The most common deficiency in the nests was related to nest base

construction. Since birds do not live in social groups and build nests individually, they do not have the opportunity to learn nest-building techniques. Therefore, this suggests that nest-building behavior is largely instinctual and genetically inherited.

CONCLUSION

This study demonstrated that reducing nest deficiencies through simple interventions significantly lowered chick mortality. Therefore, addressing structural issues in nests during construction could help mitigate chick losses that negatively impact reproductive success.

Contributions: Arda Onur Özkök and Gözde Kılınç contributed to the study conception and design. Material preparation and data collection were performed by Arda Onur Özkök. All authors (Arda Onur Özkök and Gözde Kılınç) contributed data analysis, writing, and editing the last draft of the manuscript. The manuscript has been read and approved by all named authors and that there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed.

Conflict of interest: The authors declare no competing interests.

Ethics Committee Approval: This study was approved by the Ondokuz Mayıs University Animal Experiments Local Ethics Committee (2024-49).

REFERENCES

- Bach, R.A.K., Brann, M. & Aime, M.C. (2022). Viability of fungal rhizomorphs used in bird nest construction in tropical rainforests. *Symbiosis*, **87**(2), 175-179. DOI: [10.1007/s13199-022-00856-x](https://doi.org/10.1007/s13199-022-00856-x)
- Bakst, M.R. & Cecil, H.C. (1997). *Techniques for semen evaluation, semen storage, and fertility determination*. In: Poultry Science Association, 2nd edn, Murray R. Bakst & Julie A. Long, Buffalo, Minnesota, p. 11-15.
- Biddle, L. E., Broughton, R. E., Goodman, A. M., & Deeming, D. C. (2018). Composition of bird nests is a species-specific characteristic. *Avian Biology Research*, **11**(2), 132-153. DOI: [10.3184/175815618x15222318755467](https://doi.org/10.3184/175815618x15222318755467)
- Biddle, L.E., Dickinson, A.M., Broughton, R.E., Gray, L.A., Bennett, S.L., Goodman, A.M., & Deeming, D.C. (2019). Construction materials affect the hydrological properties of bird nests. *Journal of Zoology*, **309**(3), 161-171. DOI: [10.1111/jzo.12713](https://doi.org/10.1111/jzo.12713)
- Breen, A.J., Healy, S.D. & Guillelte, L.M. (2021). Reproductive consequences of material use in avian nest construction. *Behavioural Processes*, **193**, 104507. DOI: [10.1016/j.beproc.2021.104507](https://doi.org/10.1016/j.beproc.2021.104507)
- Chiver, I., Ball, G.F., Lallemand, F., Vandries, L.M., Plumier, J.P., Cornil, C.A. & Balthazart, J. (2022). Photoperiodic control of singing behavior and reproductive physiology in male Fife fancy canaries. *Hormones and Behavior*, **143**, 105194. DOI: [10.1016/j.yhbeh.2022.105194](https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2022.105194)
- Cramer, E.R., Rowe, M., Eroukhmanoff, F., Lifjeld, J.T., Sætre, G.P. & Johnsen, A. (2019). Measuring sperm swimming performance in birds: effects of dilution, suspension medium, mechanical agitation, and sperm number. *Journal of Ornithology*, **160**, 1053-1063. DOI: [10.1007/s10336-019-01672-9](https://doi.org/10.1007/s10336-019-01672-9)
- Cramer, E.R., Grønstøl, G., Maxwell, L., Kovach, A.I. & Lifjeld, J.T. (2021). Sperm length divergence as a potential prezygotic barrier in a passerine hybrid zone. *Ecology and Evolution*, **11**(14), 9489-9497. DOI: [10.1002/ece3.7768](https://doi.org/10.1002/ece3.7768)
- Deeming, D.C. (2011). Importance of nest type on the regulation of humidity in bird nests. *Avian Biology Research*, **4**(1), 23-31. DOI: [10.3184/175815511X13013963263739](https://doi.org/10.3184/175815511X13013963263739)
- Deeming, D.C. (2023). A review of the roles materials play in determining functional properties of bird nests. *Acta Ornithologica*, **58**(1), 1-28. DOI: [10.3161/00016454AO2023.58.1.001](https://doi.org/10.3161/00016454AO2023.58.1.001)
- Esin, B., Kaya, C., Akar, M. & Çevik, M. (2024). Investigation of the protective effects of different forms of selenium in freezing dog semen: Comparison of nanoparticle selenium and sodium selenite. *Reproduction in Domestic Animals*, **59**(6), e14652. DOI: [10.1111/rda.14652](https://doi.org/10.1111/rda.14652)
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G. & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, **39**, 175-191.
- Healy, S.D., Tello-Ramos, M.C. & Hébert, M. (2023). Bird nest building: visions for the future. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 378, Issue 1884). Royal Society Publishing. DOI: [10.1098/rstb.2022.0157](https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0157)
- IBM Corp. (2011): IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. IBM Corporation, Armonk, NY
- Järvinen, P., Klun, E. & Brommer, J.E. (2017). Low heritability of nest construction in a wild bird. *Biology Letters*, **13**(10), 20170246. DOI: [10.1098/rsbl.2017.0246](https://doi.org/10.1098/rsbl.2017.0246)
- Jessel, H.R., Aharoni, L., Efroni, S. & Bachelet, I. (2019). A modeling algorithm for exploring the architecture and construction of bird nests. *Scientific Reports*, **9**(1), 14772. DOI: [10.1038/s41598-019-51478-1](https://doi.org/10.1038/s41598-019-51478-1)
- Lamprecht, I., & Schmolz, E. (2004). Thermal investigations of some bird nests. *Thermochimica Acta*, **415**(1-2), 141-148. DOI: [10.1016/j.tca.2003.08.029](https://doi.org/10.1016/j.tca.2003.08.029)

- Mayer, P.M., Smith, L.M., Ford, R.G., Watterson, D.C., McCutchen, M.D. & Ryan, M.R. (2009).** Nest construction by a ground-nesting bird represents a potential trade-off between egg crypticity and thermoregulation. *Oecologia*, **159**(4), 893-901. DOI: [10.1007/s00442-008-1266-9](https://doi.org/10.1007/s00442-008-1266-9)
- Mennerat, A., Perret, P. & Lambrechts, M.M. (2009).** Local individual preferences for nest materials in a passerine bird. *PLoS ONE*, **4**(4), e5104. DOI: [10.1371/journal.pone.0005104](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005104)
- Özkök, A.O. (2022).** Semen collection from small breed birds and some parameters related to passerine bird semen. *International Journal of Science Letters*, **4**(1), 220-225. DOI: [10.38058/ijsl.1052705](https://doi.org/10.38058/ijsl.1052705)
- Sonnenberg, B.R., Branch, C.L., Benedict, L.M., Pitera, A.M. & Pravosudov, V.V. (2020).** Nest construction, ambient temperature and reproductive success in a cavity-nesting bird. *Animal Behaviour*, **165**, 43-58. DOI: [10.1016/j.anbehav.2020.04.011](https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2020.04.011)
- Tello-Ramos, M.C., Sugawara, S., Dibia, M. & King, H. (2022).** Tools, behavior, and materials: What should we learn from animal nest construction?. In *Biomimicry for materials, design and habitats*. Elsevier, 183-214p. DOI: [10.1016/B978-0-12-821053-6.00014-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821053-6.00014-X)
- Walsh, P.T., Hansell, M., Borello, W.D. & Healy, S.D. (2013).** Are elaborate bird nests built using simple rules? *Avian Biology Research*, **6**(2), 157-162. DOI: [10.3184/175815513X13629302805186](https://doi.org/10.3184/175815513X13629302805186)
- Yang, Y., Zhang, Y., Ding, J., Ai, S., Guo, R., Bai, X. & Yang, W. (2019).** Optimal analysis conditions for sperm motility parameters with a CASA system in a passerine bird, *Passer montanus*. *Avian Research*, **10**(1), 1-10. DOI: [10.1186/s40657-019-0174-5](https://doi.org/10.1186/s40657-019-0174-5)



Green Port and City Integration: Sustainable Approaches in Location Selection

İshak ALTINPINAR^{1*}

¹Karadeniz Teknik University, Maritime Transportation and Management Engineering Department, Trabzon, Türkiye,

Received: 19.01.2025

Accepted: 12.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Altınpinar, İ. (2025). Green Port and City Integration: Sustainable Approaches in Location Selection. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 132-138. <https://doi.org/10.35229/jaes.1622890>

Atıf yapmak için: Altınpinar, İ. (2025). Yeşil Liman ve Şehir Entegrasyonu: Lokasyon Seçiminde Sürdürülebilir Yaklaşımlar. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 132-138. <https://doi.org/10.35229/jaes.1622890>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-1769-3857>

***Corresponding author's:**

İshak ALTINPINAR
Karadeniz Teknik University, Maritime
Transportation and Management Engineering
Department, Trabzon, Türkiye
✉: ishakaltinpinar@ktu.edu.tr

Abstract: The concept of green ports is becoming increasingly important as global concerns about environmental sustainability grow. However, operating existing ports as green ports or planning newly constructed ports as green ports brings certain requirements. It is seen that the importance of location selection in green ports significantly affects the efficiency of the port and its suitability to its name. Selecting an appropriate location for green ports constitutes a multifaceted decision-making challenge that necessitates a balance among environmental, economic, and operational factors. In this study, the criteria affecting the selection of green port locations were evaluated using the Analytical Hierarchy Process (AHP), which is a multi-criteria decision-making method (MCDM). The study aims to hierarchically classify the relationship between ports and cities for more livable cities and prioritize green port needs. The study results show that the most important criterion among the criteria considered in the selection of green port locations is Environmental and Social Sustainability (29.27%). Geographical and Natural Conditions (24.78%) emerge as the second most important criterion. Infrastructure and Operational Efficiency (18.47%) and Economic and Commercial Issues (16.8%) are also emphasized in close competition with each other in terms of weight. Management and Strategic Importance (10.68%) are in the last place. In the selection of green ports, it is necessary to adopt a business style that respects the environment and humanity. Before the industrial revolution, the port-city relationship has given way to distant relations today. In this respect, for a clean future, integrated systems need to be created not only from green ports but also with green hinterlands and green cities.

Keywords: Analytical hierarchy process, green port, port-city integration, multi-criteria decision making, sustainability.

Yeşil Liman ve Şehir Entegrasyonu: Lokasyon Seçiminde Sürdürülebilir Yaklaşımlar

Öz: Çevresel sürdürülebilirliğe ilişkin küresel endişelerin artmasıyla birlikte yeşil liman kavramı giderek daha da önemli hale geliyor. Ancak mevcut limanların yeşil liman olarak işletilmesi veya yeni inşa edilecek limanların yeşil liman olarak planlanması belirli gereklilikleri beraberinde getirmektedir. Yeşil limanlarda lokasyon seçiminin öneminin limanın verimliliğini ve ismine uygunluğunu önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Yeşil limanlar için uygun bir yer seçmek, çevresel, ekonomik ve operasyonel faktörler arasında bir denge gerektiren çok yönlü bir karar alma zorluğunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yeşil liman lokasyonlarının seçimini etkileyen kriterler, çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, daha yaşanabilir şehirler için limanlar ve şehirler arasındaki ilişkiyi hiyerarşik olarak sınıflandırmak ve yeşil liman ihtiyaçlarını önceliklendirmektir. Çalışma sonuçlarına göre yeşil liman lokasyonlarının seçiminde dikkate alınan kriterler arasında en önemli kriter Çevresel ve Sosyal Sürdürülebilirlik (%29,27) olmuştur. Coğrafi ve Doğal Koşullar (%24,78) ikinci en önemli kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Altyapı ve Operasyonel Verimlilik (%18,47) ile Ekonomik ve Ticari Konular (%16,8) da ağırlık bakımından birbirleriyle sıkı rekabet halindedir. Yönetim ve Stratejik Önem (%10,68) son sırada yer almaktadır. Yeşil limanların seçiminde çevreye ve insanlığa saygılı bir iş yapma tarzı benimsemek gerekir. Sanayi devriminden önce liman-şehir ilişkisi yerini günümüzde uzak ilişkilere bırakmıştır. Bu bağlamda temiz bir gelecek için sadece yeşil limanlardan değil yeşil hinterland ve yeşil şehirler ile entegre sistemler oluşturulması gerekmektedir.

***Sorumlu yazar:**

İshak ALTINPINAR¹
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Ulaştırma
ve İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon,
Türkiye
✉: ishakaltinpinar@ktu.edu.tr

Anahtar kelimeler: analitik hiyerarşi süreci, liman şehir entegrasyonu, yeşil liman, çok kriterli karar verme, sürdürülebilirlik.

INTRODUCTION

Maritime transport plays a key role in world trade that carries out approximately 80% of global trade (UNCTAD, 2019). Low cost and energy efficiency advantages have made maritime transport more appealing than other transportation modes (Witte et al., 2014). Ports are essential centers for maritime transport, which plays a vital role in sustaining the global economy. For this reason, ports' management, infrastructure, and efficiency are critical. Major ports such as Shanghai, Singapore, Rotterdam, and Hamburg are interesting examples of technological innovation and sustainable development in this context. (Merk & Hesse, 2012; Zhao et al., 2017). Historically, ports and cities have had a mutually efficient relationship, such that ports are important for the global trade of a city and the urban economy in general. These hubs attracted new business toward regional wealth by encouraging industrial development while offering bridges to the global marketplace (Yu et al., 2020; Monios et al., 2018). However, the port-city interaction has become more complicated by growing urbanization and, therefore, globalization has caused challenges between integration and division of their growth (Kong & Liu, 2021). Now, ports have much economic importance because of the unexpected rise of international commerce and turn into major networks for global supply chains that affect the hinterland. Directly through the achievement of further development in containerization and intermodal transport, ports may now serve areas well beyond their local metropolitan borders (Ducruet & Guerrero, 2022). As a result, expansion has created numerous problems. Social and environmental costs in cities frequently accompany port activities, including excessive noise pollution, air pollution, traffic jams, and conflicts over land use (Kotowska et al., 2018). It is quite an expected result that the air pollutants already present in certain amounts in big cities like Istanbul (Çolak et al., 2024), will be supplemented by air pollution originating from ships.

The issues have thus rekindled discussion on port-city interaction, especially as far as sustainability and quality of life in the cities are concerned (Aregall et al., 2018). Nowadays environmental concerns are becoming the center of port development discussions. Ports contribute significantly to greenhouse gas emissions not only through maritime operations but also through road-based hinterland connections (Kotowska et al., 2018). Moreover, although ballast water from ships has been purified from microorganisms by the improved Ballast Water Treatment System, the transport of some accompanying inorganic wastes has still not been completely prevented (Lakshmi et al., 2021). Ports such as Rotterdam are pioneers in logistics

processes thanks to their strong hinterland connections (Aregall et al., 2018). However, port-city integration can also bring problems such as traffic congestion, air pollution, and noise (Witte et al., 2014). In this context, green port strategies and smart port technologies offer important solutions to facilitate integration (Kong and Liu, 2021; Zhao et al., 2017). The common point among all these solutions is that environmental and social values should not be lost for the economic interests of humanity (Bin et al., 2023). Implementing business plans that take into account both present and future port requirements is another challenging task for ports. Köse (2020) assessed the impact of port activities on the city of Trabzon, and it was determined that particles originating from the port could spread 2-3 km wide in the city. Ports need to expand their capacity and foster economic development, but this growth must be balanced with efforts to minimize negative impacts on nearby communities. The implementation of green port policy is one of the levers that can be applied to have an impact towards minimizing environmental effects and having sustainable long-term operations. Satır et al. (2018) define a green port as "a green port is defined as meeting all applicable environmental standards and focusing on sustainability and eco-friendliness". The green port policy aims to develop a habitat in terms of marine life, reduce air pollution from and for port users, and create a clean and safe environment. Major ports have begun adopting such measures as putting in place the green port strategies and promoting environmentally friendly mode transport so that they will have a dent in the region's air pollution (Aregall et al., 2018). Ports such as Rotterdam and Hamburg have shown that public benefit ports can deliver in terms of contributing towards regional environmental targets by proactive measures reducing emissions and increasing sustainability (Merk Hesse, 2012). Economic variables play a significant role in the interaction between ports and cities. Monios et al. (2018) conducted an in-depth study on how logistics distribution impacts the dynamics between ports and cities. This need for sustainable planning is most evident when considering how logistics activities centered around ports can influence city traffic flow and economic activities. Ports are economic engines of development benefiting trade, foreign direct investment, and employment creation. Lugo and Martínez-Mekler (2022) discuss the theoretical impact of ports on city systems in relation to the interdependence of these two systems. Ports may pose severe limitations to spatial planning, even as they contribute to the economy of the cities. Because of this circumstance, port-city integration becomes really complicated. Discussions continue in this context regarding whether this situation weakens the economic ties between ports and cities or opens new avenues for urban renewal (Zhao et al., 2017). According to the study

done especially for the Port of Hamburg, port and city integration provides answers for both economic expansion and environmental issues. The Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD) Hamburg research emphasizes how this integration boosts cities' competitiveness (OECD, 2020).

Possible criteria affecting the location selection for a green port are listed as follows.

Geographical and Natural Conditions

Deep water access and natural harbors require deep water to meet the draft requirements of large ships, and natural harbors are often used to minimize infrastructure costs (Ducruet & Notteboom, 2012). This situation paves the way for the expansion of historically used natural harbors. Climatic and hydrological factors are favored for operational efficiency, stability in weather patterns, and minimum sedimentation (Merk & Hesse, 2012). In this way, prevailing winds, currents, and rivers' drainage are taken into account.

Economic and Commercial Issues

Strategic locations on important shipping routes and close to economic centers reduce transportation costs (Monios et al., 2018; Zhao et al., 2017). Efficient connection roads, railways, and inland waterway connections are critical for accessing regional markets thanks to hinterland connectivity (Kotowska et al., 2018). The biggest deficiency, especially for Eastern Black Sea ports in Turkey, is the lack of railway connectivity. The integration of railway transportation, which is the most economical transportation method after sea transportation, into ports significantly affects costs and various environmental pollution. Industrial proximity is one of the important issues for ports. The industry in the region increases the cargo volume; therefore, being close to industrial production centers contributes positively to the port's processing volume. (Ducruet & Guerrero, 2022).

Infrastructure and Operational Efficiency

In transport integration, seamless transitions between sea, rail, and road ensure the smooth operation of intermodal transport (Kotowska et al., 2018). The completeness of infrastructure and superstructure formations such as railways, which also affect economic issues, will ensure that the port operates more efficiently and cleanly. Ports equipped with technological readiness, automation and digital logistics technologies gain a competitive advantage in terms of being both economical and green ports thanks to increased efficiency (Aregall et al., 2018). Ports with land suitable for expansion make it easier to adapt to future growth demands (Merk & Hesse, 2012). Having land suitable for the expansion of ports is, in a sense, significantly and positively related to the distance from the city. There will be a gap in terms of cost between the resources and time spent for the expansion of the port in the city center and the expansion activity to be carried out outside the city.

Environmental and Social Sustainability

For green port initiatives, sustainability practices such as emission reduction and renewable energy use are increasingly prioritized (Sharifi, 2020). In urban areas, addressing social concerns such as congestion, pollution, and displacement is of vital importance (Yu et al., 2020). This issue should be taken into account in the establishment of new ports, and settlements that are somewhat distant from the city should be considered for the establishment of ports. Ports located in areas that are far from extreme weather events and high tides are more sustainable (Aregall et al., 2018). While tides are not seen much in regions such as the Black Sea and the Mediterranean, tidal amplitude is an important criterion in port construction in areas with oceanic coasts. Finally, before large-scale construction activities such as ports are carried out in the region, the importance of the region for marine life should be evaluated, and extra care should be taken for areas that are critical to species (Gill, 2005).

Management and Strategic Importance

Countries' policies, incentives, and legislation at different times affect the choice of location (Ducruet Guerrero, 2022). The area where the port investment will be carried out should not contain security risks. In addition, ports with long-term trade agreements with other countries are preferred (Monios et al., 2018). This situation can be done not only for economic reasons but also for bilateral relations and strategies. Since ports are strategically important, their security should be controlled meticulously. The crowded and traffic in the region passing through the port areas is directly important in terms of security (Zhao et al., 2017). For these reasons, the distance between the ports and the city should be calculated in a very balanced way.

How is the relationship between urban areas and ports affected by the concept of green ports? How are port location selection criteria affecting the interaction between ports and cities? This paper evaluates the economic, social, and environmental balances involved using case studies, theoretical frameworks, and empirical evidence from literature. For this purpose, the analytical hierarchy method (AHP) of the multi-criteria decision-making (MCDM) technique is applied to analyze the weight of critical criteria in green port location selection. The factors affecting the port location are summarized into five broad categories by reviewing the literature and reaching expert consensus.

MATERIAL AND METHOD

In this study, the AHP was used to evaluate and prioritize the criteria to be considered in port site selection considering the interaction of cities with ports. AHP, developed by Thomas Saaty, is a methodical and quantitative approach to decision-making that gauges expert opinions

according to a number of criteria (Saaty, 2008). By comparing the criteria both among themselves and in pairs, the AHP makes it possible to synthesize qualitative expert assessments into quantitative rankings (Özdemir et al., 2018). In this study, the AHP method was preferred in order to reveal the weighting and priority order of the criteria. The initial criteria identified in the literature review were subsequently refined through preliminary interviews with experts, during which the suitability of each criterion was discussed. Five key criteria were ultimately established after a thorough consensus process involving experts. After selecting the criteria, a group of nine experts consisting of experienced captains and academicians from the operations department evaluated the criteria. As a result of the research and interviews, five main criteria to be considered in port site selection were determined. The criteria and their explanations are given in Table 1.

Table 1. Description of criteria.

Criteria number	Explanations of criteria.
C1.	Geographical and Natural Conditions
C2.	Economic and Commercial Issues
C3.	Infrastructure and Operational Efficiency
C4.	Environmental and Social Sustainability
C5.	Management and Strategic Importance

AHP uses pairwise comparisons to assess the relative importance of each element. According to the relevance scale shown in Table 2, experts provide a number between 1 and 9 for every pair of criteria, where 1 indicates equal importance, and 9 indicates extraordinary importance of one criterion over the other.

Table 2. Importance scale (Saaty, 2008).

Intensity of importance	Definition
1	Equal Importance
3	Moderate Importance
5	Strong Importance
7	Very Strong Importance
9	Extreme Importance
2,4,6,8	Intermediate Values

A pairwise comparison matrix $A=[a_{ij}]$ is used to arrange the comparisons, where:

a_{ij} represents the relative importance of criterion i over criterion j .

If $a_{ij} = k$ then $a_{ji} = 1/k$ to maintain matrix consistency.

For instance, the pairwise comparison matrix A would resemble this if it were comparing five criteria, C1, C2, C3, C4, and C5.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & 1 & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

The eigenvector computation step starts after this stage.

Total the columns of the pairwise comparison matrix A .

To normalize each element, divide it by the sum of its columns.

Determine the average of every row in the normalized matrix to obtain the priority vector.

Each criterion's weights are determined using the formula $w = [w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, \dots, w_n]$.

For a matrix of size n , the formula for criterion i 's priority is:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \right) \quad (2)$$

AHP performs a consistency check to ensure that the choices in the pairwise comparison matrix are reasonably consistent. The Consistency Index (CI) is calculated using the formula below:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Where n is the number of criteria and $\lambda_{\max}$ is the maximum eigenvalue of matrix A . The consistency ratio must be computed as follows in order to test the pairwise comparison matrix's (CR) degree of consistency:

$$CR = CI/RI \quad (4)$$

The random index value for the pairwise comparison matrix ($A_{n \times n}$) is represented by RI, and the consistency index value by CI. The random index value RI can be computed using the random index values listed in Table 3.

Table 3. Random index (RI) (Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

If the CR value is less than 0.1, pairwise comparisons are consistent (Saaty, 2008). If not, the analysis should be reviewed and, if necessary, updated with new values.

FINDINGS AND DISCUSSION

Normalized decision matrices were created and examined following the assessment of each expert. After that, the specialists created weight eigenvectors for every criterion. The relative relevance score of each criterion in the pairwise comparison matrix is based on the geometric mean of the expert ratings. Professional viewpoints on choosing a green port location significantly overlap. The criterion weights derived from the pairwise comparison matrices are displayed in Table 4.

The study results show that among the criteria considered in the selection of green port locations, the most important criterion is Environmental and Social Sustainability (29.27%). Geographical and Natural

Conditions (24.78%) appear as the second most important criterion. Infrastructure and Operational Efficiency (18.47%) and Economic and Commercial Issues (16.8%) are also emphasized, with both factors competing closely in terms of weight. Management and Strategic Importance (10.68%) are in the last place.

According to AHP results, environmental and social sustainability was found to be the most important criterion (29.27%), and sustainability in port management is a necessary prerequisite for global competition (Aregall et al., 2018). In order to talk about a sustainable port, it is expected that the port is operated in a way that respects its environment and resources. Ensuring intensive particle

transport into the city while carrying out port activities does not coincide with green port strategies; much stricter measures should be taken for air quality in ports close to city centers (Köse, 2020). There are negative effects of port activities, such as pollution, noise, traffic, and congestion, on the urban population in port operations (Kotowska et al., 2018). If these effects are eliminated, city and port integration can progress more healthily. For example, sustainable development policies such as the Hong Kong Port have shown that effective coordination between port and city management can increase environmental efficiency while maintaining economic viability (Kong and Liu, 2021).

Table 4. Criteria weights assigned by experts.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	FEW	PCT
C1	0.258	0.273	0.159	0.144	0.252	0.157	0.310	0.253	0.449	0.248	24.78%
C2	0.196	0.223	0.343	0.164	0.133	0.187	0.141	0.130	0.061	0.168	16.80%
C3	0.171	0.193	0.243	0.204	0.144	0.201	0.141	0.145	0.164	0.185	18.47%
C4	0.225	0.213	0.159	0.392	0.377	0.373	0.253	0.373	0.254	0.293	29.27%
C5	0.149	0.098	0.097	0.095	0.094	0.081	0.156	0.100	0.072	0.107	10.68%

*C: Criteria, E: Expert, FEW: Final Expert Weights

According to geographical and natural conditions (24.78%), the role of natural harbors and hinterland connections in port success is quite important (Monios et al., 2018). While natural harbors are important in terms of reducing investment costs, the depth of ports is increasingly important today, thanks to large draft ships. For example, the Port of Gothenburg shows how geographical proximity to deep water channels and urban centers can affect port performance and integration with urban infrastructure (Monios & Bergqvist, 2018). Moreover, hinterland connection is an essential determinant of port competitiveness, emphasizing the importance of intermodal transportation networks (Aregall et al., 2018). Choosing a port location geographically is quite important. It is essential to consider the depth of the port, the distance to the places where rivers flow into the sea, the prevailing wind and current, and tidal factors (Merk & Hesse, 2012). When choosing a port location that is negatively affected by these factors, the effort and resources spent on combating nature reduce the possibility of the port being green.

The weight attributed to infrastructure and operational efficiency (18.47%) reflects the critical role of modernized logistics systems in port operations. Studies show that ports that invest in automation and digitalization, such as container tracking and truck scheduling systems, increase operational efficiency while reducing congestion and emissions (Dos Santos & Pereira, 2021). The introduction of dynamic models for road port access is said to further facilitate operations, as evidenced by emerging hub ports such as Santos in Brazil (Dos Santos & Pereira, 2021). Supporting ports with connections such as railways, roads, and pipelines will increase their efficiency.

However, increasing the efficiency of the port should not mean increasing pollution. In other words, the port should not lose its green port feature as it increases its capacity and throughput. If it is not possible to have these features, it should be established in areas as far away from the city as possible, and the port hinterland should be arranged to be a green hinterland (Aregall et al., 2018).

The relatively moderate weight given to economic and commercial issues (16.8%) is consistent with the findings that financial factors, while fundamental, act as constraints rather than drivers of green port development. For example, ports in developing regions face challenges in balancing economic pressures with environmental objectives, as highlighted in studies on the role of competition and investment in port efficiency (De Oliveira & Cariou, 2015).

Finally, there is a lower importance of governance and strategic importance (10.68%). Government policies or bilateral agreements are important in port location selection. However, governments need to adopt green port policies for green port location selection. Countries with the world's largest share of greenhouse gas emissions are moving very slowly in this regard. Studies also show that high-income people are not very enthusiastic about green transformation (Nielsen et al., 2021). The port industry needs to be seriously monitored, and its work within the scope of green transformation should be monitored.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

It is clear that prioritizing sustainability, benefiting from geographical advantages, and modernizing the infrastructure are of vital importance when choosing a

green port location. Considering the primitiveness of transportation vehicles and the security risks that emerged during transportation, the intertwining of ports and cities was quite important in choosing a port location before the Industrial Revolution. Nowadays, with economic and technological developments, sustainability emerges as an important indicator. In line with these indicators, we may need to move away from old patterns and lengthen the distance between cities and ports. Future studies can investigate how these criteria interact in different regional contexts, especially in developing economies where economic and social challenges are evident. Predictions can be made about the ports with the potential to become new-generation green ports.

Authors' Contributions: All the paper is designed, created and revised by one author.

Statement of Conflicts of Interest: There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics: The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

REFERENCES

- Aregall, M.G., Bergqvist, R. & Monios, J. (2018). A global review of the hinterland dimension of green port strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **59**, 23-34. DOI: [10.1016/j.trd.2017.12.013](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.013)
- Bin Ibrahim, I., Jalil, S.A. & Salleh, S. S. (2023). A Conceptual Model for Sustainable Green Port Practices: A Case Study of Northport (Malaysia) Berhad. *Information Management and Business Review*, **15**(3 (SI)), 267-279. DOI: [10.22610/imbr.v15i3\(si\).3483](https://doi.org/10.22610/imbr.v15i3(si).3483)
- Çolak, Z., Onat, B., Coşgun, M.S., Ayvaz, B.U., Ayvaz, C., Kuzu, S.L., ... & Şahin, Ü.A. (2024). İstanbul'da Kentsel Arka Planda Atmosferik Siyah Karbon Konsantrasyon Değişiminin Değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **9**(4), 648-659. DOI: [10.35229/jaes.1561066](https://doi.org/10.35229/jaes.1561066)
- Dos Santos, M.C. & Pereira, F.H. (2021). Development and application of a dynamic model for road port access and its impacts on port-city relationship indicators. *Journal of Transport Geography*, **96**, 103189. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2021.103189](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103189)
- De Oliveira, G.F. & Cariou, P. (2015). The impact of competition on container port (in) efficiency. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, **78**, 124-133. DOI: [10.1016/j.tra.2015.04.034](https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.04.034)
- Ducruet, C., & Lee, S. W. (2006). Frontline soldiers of globalization: Port-city evolution and regional competition. *GeoJournal*, **67**(2), 107-122. DOI: [10.1007/s10708-006-9782-6](https://doi.org/10.1007/s10708-006-9782-6)
- Gill, A.B. (2005). Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone. *Journal of Applied Ecology*, **42**(4), 605-615. DOI: [10.1111/j.1365-2664.2005.01060.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01060.x)
- Kong, Y. & Liu, J. (2021). Sustainable port cities with coupling coordination and environmental efficiency. *Ocean and Coastal Management*, **205**, 105534. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2021.105534](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105534)
- Kotowska, I., Mankowska, M. & Plucinski, M. (2018). Inland shipping to serve the hinterland: The challenge for seaport authorities. *Sustainability*, **10**(10), 3468. DOI: [10.3390/su10103468](https://doi.org/10.3390/su10103468)
- Köse, S. (2020). Measurement and Modelling of Particulate Matter Emissions from Harbor Activities at a Port area: A Case Study of Trabzon, Turkey. *Journal of ETA Maritime Science*, **8**(4). DOI: [10.5505/jems.2020.49389](https://doi.org/10.5505/jems.2020.49389)
- Lakshmi, E., Priya, M. & Achari, V.S. (2021). An overview on the treatment of ballast water in ships. *Ocean & Coastal Management*, **199**, 105296. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2020.105296](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105296)
- Lugo, I. & Martínez-Mekler, G. (2022). Theoretical study of the effect of ports in the formation of city systems. *Journal of Shipping and Trade*, **7**(1), Article 16. DOI: [10.1186/s41072-022-00117-6](https://doi.org/10.1186/s41072-022-00117-6)
- Merk, O. & Hesse, M. (2012). The competitiveness of global port-cities: The case of Hamburg, Germany. *OECD Regional Development Working Papers*, 2012/06. DOI: [10.1787/5k97g3hm1gvk-en](https://doi.org/10.1787/5k97g3hm1gvk-en)
- Monios, J., Bergqvist, R. & Woxenius, J. (2018). Port-centric cities: The role of freight distribution in defining the port-city relationship. *Journal of Transport Geography*, **66**, 53-64. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2017.11.012](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.11.012)
- Nielsen, K.S., Nicholas, K.A., Creutzig, F., Dietz, T. & Stern, P.C. (2021). The role of high-socioeconomic-status people in locking in or rapidly reducing energy-driven greenhouse gas emissions. *Nature Energy*, **6**(11), 1011-1016. DOI: [10.1038/s41560-021-00900-y](https://doi.org/10.1038/s41560-021-00900-y)
- OECD. (2018). The Future of Ports in Global Supply Chains. OECD iLibrary. DOI: [10.1787/future-ports-2018-en](https://doi.org/10.1787/future-ports-2018-en)
- OECD Hamburg. (2020). Building a bridge between port and city: Improving the urban competitiveness of port cities. OECD iLibrary. DOI: [10.1787/5k3ttg8zn1zt-en](https://doi.org/10.1787/5k3ttg8zn1zt-en)
- Özdemir, Ü., Altınpinar, İ. & Demirel, F.B. (2018). A MCDM approach with fuzzy AHP method for occupational accidents on board. *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, **12**(1), 93-98. DOI: [10.12716/1001.12.01.10](https://doi.org/10.12716/1001.12.01.10)
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, **1**(1), 83-98. DOI: [10.1504/IJSSCI.2008.017590](https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590)

- Satır, T. & Doğan-Sağlamtimur, N. (2018). The protection of marine aquatic life: Green Port (EcoPort) model inspired by Green Port concept in selected ports from Turkey, *Europe and the USA. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 6(1), 120-129. DOI: [10.21533/pen.v12.i4](https://doi.org/10.21533/pen.v12.i4)
- Sharifi, A. (2020). Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 276, 122813. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.122813](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122813)
- UNCTAD. (2019). Review of maritime transport 2019. United Nations Conference on Trade and Development. <https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2019>
- Witte, P., Wiegmans, B., Van Oort, F. & Spit, T. (2014). Governing inland ports: A multi-dimensional approach to addressing inland port-city challenges in European transport corridors. *Journal of Transport Geography*, 36, 42-52. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2014.02.011](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.02.011)
- Yu, L., Zhang, J. & Chen, S. (2020). Urban and port development dynamics: A case study. *Sustainability*, 12(2857), 1-18. DOI: [10.3390/su12072857](https://doi.org/10.3390/su12072857)
- Zhao, Q., Xu, H., Wall, R.S. & Stavropoulos, S. (2017). Building a bridge between port and city: Improving the urban competitiveness of port cities. *Journal of Transport Geography*, 59, 120-133. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2017.01.014](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.01.014)



First Evidence-Based Record of Common Pandora *Pagellus erythrinus* on the Turkish Coast of the Black Sea

Mehmet AYDIN^{1*} Uğur KARADURMUŞ²

¹Department of Fisheries Technology Engineering, Fatsa Faculty of Marine Sciences, Ordu University, Ordu, Türkiye

²Department of Underwater Technology, Maritime Vocational School, Bandırma Onyedi Eylül University, Balıkesir, Türkiye

Received: 18.12.2024

Accepted: 11.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Aydın, M. & Karadurmuş, U. (2025). First Evidence-Based Record of Common Pandora *Pagellus erythrinus* on the Turkish Coast of the Black Sea. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 139-142. <https://doi.org/10.35229/jaes.1603511>

Atıf yapmak için: Aydın, M. & Karadurmuş, U. (2025). Karadeniz'in Türkiye Kıyılarında Kıрма Mercan *Pagellus erythrinus*'un Kanıta Dayalı İlk Kaydı. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 139-142. <https://doi.org/10.35229/jaes.1603511>

*ID: <https://orcid.org/0000-0003-1163-6461>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-5827-0404>

*Corresponding author's:

Mehmet AYDIN
Department of Fisheries Technology Engineering,
Fatsa Faculty of Marine Sciences, Ordu University,
Ordu, Türkiye
✉: maydin69@hotmail.com

Abstract This paper documents the first evidence-based record of the common pandora (*Pagellus erythrinus*) from the Turkish coast of the Black Sea, with specimens sampled during 2024. The samples were collected from four locations along the Black Sea coast, from Şile in the west to Perşembe in the east, at depths of 10–17 m in rocky habitats. The study suggests that the common pandora likely entered the Black Sea via the Bosphorus, a natural biological corridor linking the Sea of Marmara and the Black Sea. The recent warming of Black Sea waters and the ongoing process of Mediterraneanization, which facilitates the northward spread of species, are additional contributing factors. Biometric analysis of the specimens revealed total lengths ranging from 20.7 cm to 26.4 cm and body weights between 101.7 g and 248.5 g, confirming that all individuals were mature adults.

Keywords: New record, non-indigenous species, range expansion, Sparidae, citizen science, Türkiye.

Karadeniz'in Türkiye Kıyılarında Kıрма Mercan *Pagellus erythrinus*'un Kanıta Dayalı İlk Kaydı

Öz: Bu makalede, 2024 yılında yakalanan örneklerle, Karadeniz'in Türkiye kıyılarındaki kıрма mercanın (*Pagellus erythrinus*) ilk kanıta dayalı kaydını belgelemektedir. Örnekler, batıda Şile'den doğuda Perşembe'ye kadar Karadeniz kıyısı boyunca dört lokasyondan, kayalık yaşam alanlarında 10-17 m derinliklerde örneklenmiştir. Çalışma, kıрма mercanın Karadeniz'e muhtemelen Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan doğal biyolojik koridor olan İstanbul Boğazı aracılığıyla girdiğini öne sürmektedir. Karadeniz sularının son zamanlarda ısınması ve türlerin kuzeye yayılmasını kolaylaştıran Akdenizleşme süreci bu geçişe katkıda bulunan faktörlerdir. Örneklerin biyometrik analizi, toplam uzunluklarının 20,7 cm ile 26,4 cm arasında değiştiğini ve vücut ağırlıklarının 101,7 g ile 248,5 g arasında değiştiğini ortaya koyarak tüm bireylerin olgun yetişkinler olduğunu doğrulamaktadır.

Anahtar kelimeler: İlk kayıt, yabancı tür, menzil genişlemesi, sparidae, vatandaş bilimi, Türkiye.

INTRODUCTION

The common pandora (*Pagellus erythrinus* Linnaeus, 1758) is a member of the Sparidae family, which includes 164 species worldwide across 39 genera (Fricke et al., 2024). A total of 26 species from this family have been recorded in Turkish waters (Bilecenoğlu, 2024). The common pandora is a gregarious demersal species inhabiting rocky, sandy, and muddy sea bottoms, typically at depths of

20–300 m, although it has been found as deep as 320 m in certain areas (Bauchot et al., 1987; Froese & Pauly, 2014). Its distribution varies with size, ranging from shallow coastal waters to deeper regions of the continental shelf (Spedicato et al., 2002). While it is commonly found between 10 and 100 m in the Adriatic Sea and other Mediterranean Sea subregions, its habitat preferences and adaptability make it a key species in benthic and pelagic ecosystems. The common

pandora exhibits a lifespan of up to 21 years, with the largest recorded specimen reaching 58 cm in total length (Crec'hriou et al., 2012). It is a protogynous hermaphrodite, starting life as a female and transitioning to male after its third or fourth year (Buxton & Garratt, 1990). Primarily a diurnal feeder, common pandora is a generalist predator with a diet that includes a variety of zoobenthic invertebrates such as Decapoda, Bivalvia, Polychaeta, and Cephalopoda (Šantić et al., 2011). Its carnivorous nature and opportunistic feeding habits contribute to its adaptability across different habitats in the Mediterranean Sea and adjacent waters. The common pandora is a commercially valuable species, targeted by trawl fleets, gill nets, trammel nets, bottom long lines, and hand lines (Metin et al., 2011). It plays a significant role in small-scale fisheries across the Mediterranean Sea, contributing to local economies due to its high market value. Despite being categorized as Least Concern by the IUCN (Russell, 2014), overexploitation in certain regions threatens its sustainability.

The common pandora inhabits the eastern Atlantic Ocean, extending from Norway and the southern coasts of Scandinavia to Angola, including offshore regions like the Cape Verde, Madeira, Canary Islands, and São Tomé and Príncipe (Sanz-Fernández et al., 2022). This species is commonly observed across both northern and southern waters of Mediterranean Sea, from the Strait of Gibraltar to the Eastern Basin, including the south-central regions like Tunisian waters (Papaconstantinou et al., 1988). It is commonly found in the Aegean Sea (Ayyildiz & Altin, 2018) and even widespread in the Sea of Marmara (Sarı & Karadurmuş, 2024). Although there are reports suggesting the presence of common pandora in the Black Sea, these references—dating back more than 40 years—consist of repeated citations without direct evidence to substantiate the species' occurrence in this region (Slattenenko, 1956; Bauchot & Hureau, 1986; Bonnet, 1969; Fischer et al., 1987; Froese & Pauly, 2014; Whitehead et al., 1986). Furthermore, while the species is included in some ichthyofaunal checklists for the Black Sea (e.g., Keskin, 2010; Bilecenoğlu, 2024), a review of the referenced studies (Bennett, 1835) reveals no concrete distribution data or verified findings supporting its presence in the Black Sea.

This study fills a significant gap in the ichthyological records by providing the first evidence-based documentation of the common pandora from the Turkish coast of the Black Sea. Using sampling data collected at different times during 2024, the species' presence is confirmed along a wide geographic range, extending from the western to the eastern Black Sea.

MATERIAL AND METHOD

This study utilized a citizen science approach to collect samples of the common pandora from the Turkish

coast of the Black Sea. Small-scale commercial fishermen, operating different regions along the Black Sea coastline (Figure 1a), played an active role in this collaborative effort. Under the guidance of our research team, fishermen photographed the specimens they captured and conducted biometric measurements (Figure 1b). In addition, critical fishing information, including coordinates, depth, and the specific details of fishing gear used, was systematically recorded by the fishermen. The taxonomic level of the samples was conducted fish identification key outlined by Fischer et al. (1987), ensuring accurate species determination. To further verify the scientific nomenclature, the species name was cross-checked against FishBase (Froese & Pauly, 2024), a comprehensive global database of fish species. Biometric data included total length (TL - the length of a fish as measured from the tip of the snout to the tip of the tail) and body weight (W). TL was measured using an ichthyometer with a precision of 0.1 cm, while W was recorded using an electronic scale with a precision of 0.1 g. Both measurements were performed by the fishermen following detailed instructions provided by the research team to ensure consistency and accuracy. To better understand the habitat and environmental preferences of the species, data regarding the fishing depth and type of seabed (e.g., rocky, muddy, or sandy) were gathered through direct communication with the fishermen. The geographic coordinates of the fishing sites were logged using GPS devices to enable precise mapping of the species' distribution in the Black Sea.

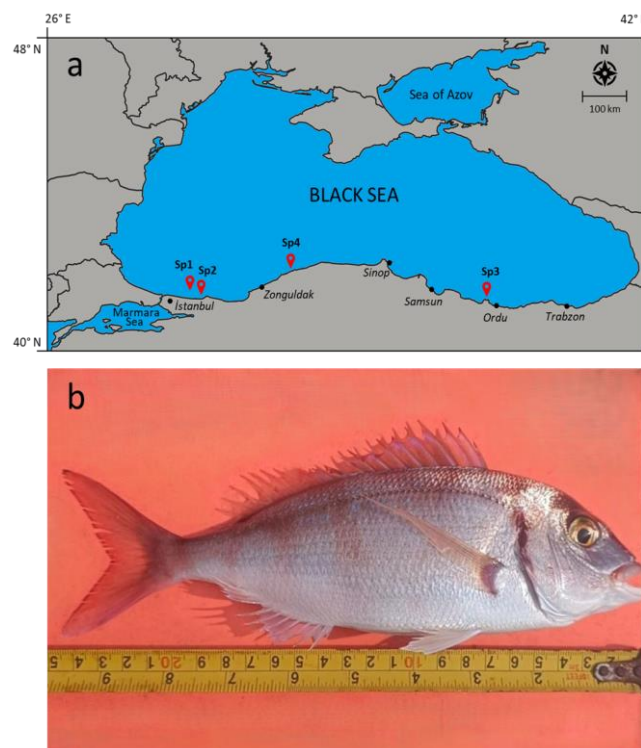


Figure 1. Geographical records of *Pagellus erythrinus* along the Turkish Black Sea coast (a), with specimen sampled from Şile on 2nd March 2024 (b)

RESULTS AND DISCUSSION

The samples were collected from the coast of Şile in the west to the coast of Perşembe in the east, highlighting the wide geographical distribution of the common pandora in rocky habitats along the Black Sea coast. Sampling occurred at various times throughout 2024, spanning from spring to autumn, which demonstrates the species’ year-round presence in the region. Trammel nets were primarily used as the fishing gear for three specimens, while one specimen was captured using a gill net. The species was

found at depths ranging from 10 m to 17 m, suggesting that the common pandora occupies relatively shallow rocky areas along this stretch of the coast. The total lengths of the specimens ranged from 20.7 cm (Sp3) to 26.4 cm (Sp2), with an average length of approximately 23.13 cm. The specimen weights varied from 101.7 g (Sp3) to 248.5 g (Sp2), with an average weight of around 184.25 g (Table 1). These findings provide strong evidence of the occurrence of the common pandora along the Turkish Black Sea coast, confirming its presence in shallow rocky habitats.

Table 1. Sampling details and specimen measurements of *Pagellus erythrinus* along the Turkish Black Sea coast in 2024.

Specimen code	Location details			Sampling details			Specimen details	
	Date	Coordinate	Region	Fishing gear	Depth (m)	Habitat	TL, cm	W, g
Sp1	7.2.2024	41°12'27"N 29°33'54"E	Şile, Istanbul	Trammel net	17	Rocky	24.4	204.2
Sp2	2.3.2024	41°10'46"N 29°42'38"E	Şile, Istanbul	Trammel net	16	Rocky	26.4	248.5
Sp3	25.4.2024	41°05'41"N 37°38'18"E	Perşembe, Ordu	Trammel net	10	Rocky	20.7	101.7
Sp4	11.11.2024	41°47'08"N 32°27'57"E	Amasra, Bartın	Gill net	11	Rocky	21.0	182.6
						Means	23.1	184.3

The entry of marine organisms into new geographical areas and the subsequent expansion of their ranges can occur through several mechanisms. Species can move into new areas through their natural dispersal capabilities, such as swimming or migration (Bonanno & Orlando-Bonaca, 2019). This often happens when environmental conditions in the new area become suitable for their survival and reproduction. Currents, water temperatures, and other environmental factors can transport species from one region to another. For example, currents can carry larvae or juvenile stages of species over long distances. Anthropogenic factors, such as ballast water from ships, the aquarium trade, or aquaculture activities, can introduce species to new areas. These human-related pathways often involve the accidental release of organisms into non-native environments (Bereza & Shenkar, 2022). In the case of the common pandora entering the Black Sea, the most plausible mechanism is that the species swam into the region on its own, utilizing the Bosphorus as a biological corridor between the Sea of Marmara and the Black Sea. Over the past decade, the process known as "Mediterraneanization" of the Black Sea has accelerated (Oğuz & Öztürk, 2011), leading to an increased influx of Mediterranean species, including invasive ones, into the Black Sea. The passage of species through the Bosphorus has become more frequent due to the changing environmental conditions in the region. The species' prevalence in the Mediterranean Sea and Aegean Seas (Ayyildiz & Altin, 2018), as well as its significant biomass in the Sea of Marmara (13 kg/km²) (Sarı & Karadurmuş, 2024), supports the likelihood of its natural movement from the Sea of Marmara into the Black Sea. The fact that all sampled specimens are adults further suggests that the species likely entered the Black Sea through active swimming, rather than through passive transport mechanisms like ballast water, which typically

affects early developmental stages such as eggs, larvae, or juveniles. Additionally, the specimen collected off the coast of Perşembe in the eastern Black Sea indicates that the common pandora may have already been present in the region for some time, but its presence was not reported earlier, possibly due to underreporting or the species not being captured in fishing nets.

CONCLUSION

This study provides the first evidence-based record of the common pandora in the Turkish Black Sea coast, documenting its presence from west to east. The findings highlight the species’ potential to adapt and establish in the Black Sea’s rocky habitats, facilitated by its physiological tolerance, reproductive capacity, and connectivity via the Bosphorus. The capture of exclusively adult specimens suggests that the species has successfully survived in the region and may already be colonizing, given its high fecundity and favorable environmental conditions. To understand the long-term implications of the common pandora occurrence, continuous monitoring of its population dynamics, distribution, and reproductive success is essential. Additionally, research on larval dispersal and recruitment mechanisms will help predict its future spread. Adaptive management practices, including monitoring fishery impacts and regulating catch limits if the common pandora becomes commercially valuable, will be crucial to ensure both sustainable exploitation and biodiversity conservation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank local fishermen Osman Marlalı, Olcay Şen, and Sinan Özmen for catching the samples and reporting them to our research team for scientific collaboration.

Compliance with Ethical Standards

Author Contributions: All authors contributed equally to the final version of the manuscript.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no actual, potential, or perceived conflict of interests for this article.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data Availability: The study does not contain any more data than what is presented here.

REFERENCES

- Ayyildiz, H. & Altin, A. (2018). Age and growth rates at the early life stages of common pandora (*Pagellus erythrinus*) based on analysis of otolith microstructure. *Fishery Bulletin*, **116**, 183-189. DOI: 10.7755/FB.116.2.7
- Bauchot, M.L. & Hureau, J.C. (1986). Sparidae. In: Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., & Hureau, J.C. et al. (eds), *Fishes of the Northeastern Atlantic and the Mediterranean*, 883-907p, UNESCO, Paris, France.
- Bauchot, M.L., Fischer, W. & Schneider, M. (1987). Vol. II *Vertébrés* in Méditerranée et Mer Noire (Zone de Pêche 37). FAO, Rome, Italy, 1529p.
- Bennett, E.T. (1835). Characters of several previously undescribed fishes from Trebizond. *Proceedings of the Zoological Society of London*, **3**, 91-92.
- Bereza, D. & Shenkar, N. (2022). Shipping voyage simulation reveals abiotic barriers to marine bioinvasions. *Science of The Total Environment*, **837**, 155741. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155741
- Bilecenoglu, M. (2024). Diversity of fishes along the coast of Türkiye. *Turkish Journal of Zoology*, **48**, 589-616. DOI: 10.55730/1300-0179.3197
- Bonanno, G. & Orlando-Bonaca, M. (2019). Non-indigenous marine species in the Mediterranean Sea—Myth and reality. *Environmental Science & Policy*, **96**, 123-131. DOI: 10.1016/j.envsci.2019.03.014
- Bonnet, M. (1969). Les sparidés des côtes nord-ouest africaines. *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, **33**, 97-116.
- Buxton, C.D. & Garratt, P.A. (1990). Alternative reproductive styles in seabreams (Pisces: Sparidae). *Environmental Biology of Fishes*, **28**, 113-124. DOI: 10.1007/BF00751031
- Crec'hriou, R., Neveu, R. & Lenfant, P. (2012). Length-weight relationship of main commercial fishes from the French Catalan coast. *Journal of Applied Ichthyology*, **28**, 861-862. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2012.02030.x
- Fischer, W., Schneider, M. & Bauchot, M.L. (1987). *Méditerranée et Mer Noire (Zone de Pêche 37)*. FAO, Rome, Italy, 1529p.
- Fricke, R., Eschmeyer, W.N. & Fong, J.D. (2024). *Eschmeyer's catalog of fishes: genera/species by family/subfamily*. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp> (14.12.2024).
- Froese, R. & Pauly, D. (2014). *Pagellus erythrinus*. FishBase. www.fishbase.org
- Froese, R. & Pauly, D. (2024). *FishBase* (Version 06/2024). www.fishbase.org (11.12.2024)
- Keskin, Ç. (2010). A review of fish fauna in the Turkish Black Sea. *Black Sea/Mediterranean Environment*, **16**, 195-210.
- Metin, G., İlkyaz, A.T., Soykan, O. & Kınacıgil, H.T. (2011). Biological characteristics of the common pandora, *Pagellus erythrinus* (Linnaeus, 1758), in the central Aegean Sea. *Turkish Journal of Zoology*, **35**, 307-315. DOI: 10.3906/zoo-0904-4
- Oğuz, T. & Öztürk, B. (2011). Mechanisms impeding natural Mediterranization process of Black Sea fauna. *Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment*, **17**, 234-253.
- Papaconstantinou, C.A., Mitilineou, C. & Panos, T. (1988). Aspects of the life history and fishery of red pandora, *Pagellus erythrinus* (Sparidae) off Western Greece. *Cybiu*, **12**, 267-280. DOI: 10.26028/cybiu/1988-124-001
- Russell, B. (2014). *Pagellus erythrinus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T170224A1296530. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T170224A1296530.en
- Šantić, M., Paladin, A. & Rada, B. (2011). Feeding habits of common pandora *Pagellus erythrinus* (Sparidae) from eastern central Adriatic Sea. *Cybiu*, **35**, 83-90. DOI: 10.26028/CYBIUM/2011-352-001
- Sanz-Fernández, V., Gutiérrez-Estrada, J.C. & Pulido-Calvo, I. (2022). *Pagellus* genus catches time series in the FAO Major Fishing Areas 27 and 34: Analysis of fishery behaviour. *Marine Policy*, **136**, 104912. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104912
- Sarı, M. & Karadurmuş, U. (2024). Post-mucilage status of the teleost fish assemblages in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Zoology*, **48**, 154-164. DOI: 10.55730/1300-0179.3170
- Slastenenko, E. (1956). *The fishes of the Black Sea basin*. Et ve Balık Kurumu, İstanbul, Türkiye, 711p.
- Spedicato, M.T., Greco, S., Sophronidis, K., Lembo, G., Giordano, D. & Argyri, A. (2002). Geographical distribution, abundance and some population characteristics of the species of the genus *Pagellus* (Osteichthyes: Perciformes) in different areas of the Mediterranean. *Scientia Marina*, **66**, 65-82. DOI: 10.3989/scimar.2002.66s265
- Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., Nielsen J. & Tortonese, E. (1986). *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. UNESCO, Paris, France, 1473p.



Developing *Lucilia sericata* Larva on the Natural Liver or Liver Agar

Nevra POLAT^{1*}

Salih MOLLAHALİLOĞLU²

Murat KOÇ³

¹Department of Traditional Complementary and Integrative Medicine, Institute of Public Health, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

²Department of Internal Medical Sciences, Faculty of Medicine, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

³Department of Traditional Complementary and Integrative Medicine, Institute of Public Health, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye

Received: 24.12.2024

Accepted: 24.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Polat, N., Mollahaliloğlu, S. & Koç M. (2025). Developing *Lucilia sericata* larva on the natural liver or liver agar. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(2), 143-150. <https://doi.org/10.35229/jaes.1608450>

Atıf yapmak için: Polat, N., Mollahaliloğlu, S. & Koç M. (2025). Doğal karaciğer veya karaciğer agarı üzerinde gelişen *Lucilia sericata* larvası. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(2), 143-150. <https://doi.org/10.35229/jaes.1608450>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-2982-2396>
ID: <https://orcid.org/0000-0001-7384-4106>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-0829-4571>

***Corresponding author's:**

Nevra POLAT
Department of Traditional Complementary and Integrative Medicine, Institute of Public Health, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Türkiye
✉: nevrapolat@aybu.edu.tr

Abstract: Under laboratory conditions, food type is an important factor for *Lucilia sericata* fly colony production and regeneration. Females generally prefer animal tissues or organs with high protein and moisture content for laying their eggs. However, contamination can occur when these preferred foods become rotten and putrid. In order to ensure mass rearing control and sterility in fly colony production, to evaluate structural differences in the food source and to have an idea about the extent to which the growth rate will change in the life cycle stages, raw liver and sterile tissue-based liver agar food sources in autoclaved plant tissue culture dishes were used. For larval stage (L1, L2, L3) development monitoring, a subgroup was formed for each larval stage, so that the experiments were continued for two generations with 3 sub-study groups for each food type and 6 study groups in total. The growth rate of larvae reared on a sterile 1:1 mixture of pureed liver and 3% Bacto agar was equivalent or higher than that of larvae reared on raw liver, resulting in larger adults. At the same time, the sterile liver agar rearing medium showed the advantage of no contamination and no offensive odour. There was a significant difference ($p<0.05$) between first instar larval length, first instar larval weight, second instar larval weight, third instar larval length, third instar larval weight, pupal length and adult length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver and liver agar. However, there was no significant difference between the second instar larval length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver-agar and liver ($p>0.05$).

Keywords: Food media, Growth and development, *Lucilia sericata*, Mass-rearing.

Doğal Karaciğer veya Karaciğer Agarı Üzerinde Gelişen *Lucilia sericata* Larvası

Öz: Laboratuvar koşullarında *Lucilia sericata* sinek koloni üretimi ve rejenerasyonu için besin türü önemli bir etkidir. Dişilerin yumurtalarını bırakmasında besin tercihleri genellikle protein oranı ve nem içeriği yüksek hayvan doku veya organlardır. Ancak tercih ettikleri bu besinlerin çürümeye ve kokuşmaya yüz tutmasıyla kontaminasyon gelişebilir. Sinek koloni üretiminde kitlesel yetiştirme kontrol ve steriliteyi sağlamak, besin kaynağındaki yapısal farklılıkları değerlendirmek ve yaşam döngü evrelerindeki büyüme oranının ne ölçüde değişeceği hakkında fikir sahibi olmak için çiğ ciğer ve otoklavlanmış bitki doku kültürü kapları içinde steril doku bazlı ciğer agar besin kaynakları kullanıldı. Larval dönem (L1, L2, L3) gelişim takibi için her bir larva dönemi için birer alt grup oluşturulmuş dolayısıyla her besin çeşidi için 3 alt çalışma grup toplamda 6 çalışma grup ile denemeler iki nesil sürdürülmüştür. Püre haline getirilmiş ciğer ile %3 Bacto agarın steril 1:1 karışımı üzerinde yetiştirilen larvaların büyüme hızı çiğ karaciğer üzerinde yetiştirilen larvalarinkine eşdeğer veya daha yüksekti böylelikle daha büyük yetişkinler elde edilmiştir. Aynı zamanda steril ciğer agar yetiştirme ortamı kontaminasyon gelişme ve rahatsız edici koku olmadan yetiştirme ortamı avantajı sergilemiştir. *L. sericata* larvalarından ciğer ve ciğer agar ile beslenen birinci dönem larva boy, birinci dönem larva ağırlık, ikinci dönem larva ağırlık, üçüncü dönem larva boy, üçüncü dönem larva ağırlık, pupaya geçiş dönemindeki boy ve ergin dönemdeki boy ölçümleri arasında anlamlı fark elde edilmiştir ($p<0.05$). Ancak ciğer-agar ve ciğer ile beslenen *L. sericata* larvalarının ikinci dönem larva boy ölçümleri arasında fark yoktur ($p>0.05$).

Anahtar kelimeler: Besin ortamı, Büyüme ve gelişme, Kitlesel yetiştirme, *Lucilia sericata*.

***Sorumlu yazar:**

Nevra POLAT
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Halk Sağlığı Enstitüsü, Geleneksel Tamamlayıcı ve İntegratif Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye
✉: nevrapolat@aybu.edu.tr

INTRODUCTION

The necrophagous larvae of Calliphoridae family Diptera flies live by feeding on carrion, dead tissue, rubbish or rotten food. After the larval stage in their life cycle, they leave the feeding substrate and move to a cool and shady place for the next stage of their development, the pupal stage (Gomes et al., 2006). Abiotic and biotic factors affect these flies' development and development time during the life cycle stages. Egg, larval stage (1st stage L1, 2nd stage L2, and 3rd stage L3), prepupa, pupa, and adult stage refer to the life cycle of a fly in fly morphology. In their life cycle, periodic larvae and adults constitute the mobile developmental stage, prepupae the semi-mobile stage, and eggs and pupae the immobile stage (Bomphrey et al. 2009). At each stage transition within the larval stage, larvae shed their cuticle, and this continues until the final outer cuticle shrinks. It hardens in this way until the pupal stage (Gunn, 2009). The transition to developmental stages in biological life cycles requires a developmental threshold in size and weight. For this reason, adequate nutrition of larvae during the larval stage is essential (Shaaya & Levenbook, 1982). Pupation time is related to food competition according to larval density. In insufficient food substrate, larvae pupate in a short time. They seek a cool and dark environment for pupation. This stage after feeding indicates the larvae's behavioral movement (Gomes et al. 2006). The metamorphosis period is completed in the puparium until the adult fly emerges (Mohr, 2012).

Diptera: Calliphoridae larvae development rate and duration are related to abiotic factors such as temperature, ambient relative humidity, and photoperiod cycle in laboratory growing conditions, as well as biotic factors such as food (Benbow et al., 2015). Food diversity is important for the fertility of male and female individuals in reproduction and development, especially if the structure and chemical properties of the food are suitable for these organisms. It has been reported that the moisture content of the food substrate significantly affects the growth of the green bottle fly *L. sericata*, with a developmental difference of up to 7.4 days (Tarone & Foran, 2006). *L. sericata* larvae feed on dead, necrotic tissue or decayed food for 3-10 days, depending on environmental conditions and food substrate quality. Scientists have repeatedly observed that feeding on soft food with high protein content affects larval development time rich diet affects larval development time (Clark et al., 2006; El-Moaty & Kheirallah, 2013). It has been reported that a larva consumes 0.3 g of tissue per day. Recent studies reported that 200 larvae (maggots) could consume 15 g of necrotic tissue or tissue fluid in one day (Wollina et al., 2000). However, it has been reported that very rapid larval development may also cause permanent

later-stage effects, such as reduced immunity and reduced adult longevity (Cotter et al., 2004). This maximum larval feeding rate is explained by the larvae's powerful pharyngeal pumps, which pass it through a filter that concentrates it five times. They can digest up to half their body weight in just five minutes. Thus, a larva can increase its body size 100 times in a few days (Wollina et al., 2000).

It is medically important to obtain sterile larvae in the application of a biological 'dressing' larval treatment to reduce debridement, bacteria and bad odour in chronic wounds. For this reason, it is aimed to produce a colony of sterile adults by maintaining sterility from eggs taken from fly colonies grown in the laboratory to larval development, from larvae to pupae and adult. In this direction, liver and liver agar food types were used and the development of each stage in the life cycle of *L. sericata* was examined comparatively.

MATERIAL AND METHOD

Fly rearing: *L. sericata* pupae obtained from the Biotherapy Laboratory of Istanbul Cerrahpaşa University were reared as adults within 7-10 days in specially prepared 45x45x45 cm wire cages covered with tulle. The adult individuals were initially fed with 20% sugar water solution (sucrose was used as sugar) in 250 ml Erlenmeyers. The flasks were sealed with cotton wool so that one end extended to the bottom of the flask, one end remained outside, and water was provided as ad libitum. The flies were maintained at room temperature ($22 \pm 3^\circ\text{C}$), 50% R.H. humidity, and 12:12 (L:D) photoperiod to ensure colony continuity. Chicken hearts were used as a protein source and oviposition medium as food substrate to provide a sufficient number of adults of the species for the targeted studies.

Pre-Experiment Preparations and Design: In the transition of the obtained *L. sericata* eggs to the next stages in their biological life cycle, the protocol was followed, and a sufficient number of adults from the species were provided for the experimental plan and targeted studies. The number of flies in a cage was kept between 500 and 1000 for the targeted studies. The eggs of the females that laid eggs within the specified time (within 2-4 hours) in the cages where chicken hearts were used for laying eggs were taken from the cages immediately after the end of laying. In the second stage, a sterile liver-agar medium was prepared using bovine liver as a nutrient substrate for experimental analyses. Egg packets of each female were placed in falcon tubes containing 9-10 ml of distilled water to separate and count the eggs. The eggs were shaken manually for 1-2 minutes until the separation occurred. The eggs separated from each other were filtered through sterile filter paper, and 100 eggs were counted separately for each group and transferred to the

media. The media containing the eggs were incubated at 25-30 °C overnight. For larval stage (L1, L2, L3) development monitoring, a subgroup was formed for each larval stage, so that the experiments were continued for two generations with 3 sub-study groups for each food type and 6 study groups in total.

Experimental Procedures:

Preparation of Liver and Liver-agar Medium: In preparation of liver and sterile liver-agar medium, chicken livers were washed thoroughly with distilled water and then cleaned from fat and veins and passed through distilled water again. The liver was shredded to gel consistency with a kitchen rondo and 45 grams each for liver-agar medium and 50 grams each for liver medium were taken into heat-resistant 15 cm diameter sterile petri dishes. To prepare 5% agar solution to be used in liver agar medium preparation; 5 grams of dehydrated agar powder was weighed and distilled water was added until 100 millilitres was added. The agar powder was stirred until the agar powder dissolved and kept in agarotoclave at 121°C temperature and 1 atmosphere pressure for 15 minutes. When the agar solution cooled down to 45-50 degrees, 5 ml of the agar solution was added to the petri dishes containing 45 grams of liver for liver-agar medium and mixed thoroughly and homogenous distribution was ensured. For each food type, 30 petri dishes were used, therefore 10 petri dishes were used in each subgroup. Petri dishes with liver and liver-agar were sterilised in an autoclave at 121°C temperature and 1 atmosphere pressure for 15 minutes and then covered with sterile petri covers and allowed to cool.

To determine the average length and weight of a larva at the end of days 0-2, days 2-4, and days 4-7 following the first opening of the eggs, 10 larvae of similar size were randomly selected from each experimental study group. These larvae were rinsed in distilled water and dried with blotting paper, then their weights were measured with a precision balance, and lengths were measured with calipers. For each food type, the sums of the size and weight data of 30 larvae (since there were three groups) were taken and divided by 30, and the final data obtained was recorded as the length-weight value of a larva. Traveling larvae generally require a dry, cool, shaded environment during the transition from the prepupal stage to the pupal stage. Glass jars (15x10x25cm) were used to provide this environment, and sawdust was placed inside. During metamorphosis, a hole was made in the lid of the container or glass jar, and this part was covered with gauze to allow the air necessary for the larvae's life to enter and prevent the larvae from getting out of the container. Following the incubation period of 3-5 days, Petri dishes containing different media containing the larvae, whose mobility decreased after the maximum feeding stage 3, were placed in the jar on the sawdust. The larvae were expected to move away from the nutrient medium into

the sawdust, and the petri dishes were removed after they left the medium. After the incubation period, the pupae were removed from the sawdust, placed in another plastic container, and placed in a new fly cage. For pupal length measurement, ten normal-sized 2-3 days dark-colored 10 pupae of each food species were measured with calipers, and the sum of the length values was calculated and divided by 30 and recorded as the average length value. Adult lengths were calculated in the same way as pupal lengths. The data obtained as a result of mathematical calculations were compared.

Statistical Analysis: IBM SPSS Statistics 24.0 package program was used in the statistical analysis of the data obtained in the study. Firstly, the descriptive statistics' minimum, maximum, skewness, and kurtosis values according to the variables were included. Skewness and kurtosis values are statistics that give information about the normality of the variables, and when they are between ± 1.5 , the distribution is normal (Tabachnick & Fidell 2013). Another important assumption for parametric methods in statistical analyses is that the number of data should be sufficient in the group ($N > 30$), and when the number of data is not enough, nonparametric methods should be used even if the scores are normally distributed (Pallant & Tennant 2007). Accordingly, the dependent group's t-test method was used to compare the weights and lengths of larvae after feeding them different foods. The comparison was made at $p < 0.05$ significance level for statistical analyses.

RESULTS

Since the ambient temperature and humidity will increase during the feeding process of *L. sericata* larvae depending on their activity (Early & Goff, 1986), the laboratory ambient temperature was fixed at 30°C and 50% humidity. Since *L. sericata* flies consume all their energy reserves within a few days and die when they do not have access to energy-rich food in the form of lipids or carbohydrates, the initial feeding of adults in our study was provided with table sugar and water. A moist and high-protein meal was fed to mature the ovaries of females and produce viable eggs. Sterile liver and sterile liver-agar medium were used to identify growth and developmental differences and deviations of *L. sericata* larvae about food sources at constant temperature and humidity. The opening times of the eggs of *L. sericata* larvae left to feed on different food sources, the transition times to the next stage depending on the larvae's development, length-weight measurements, pupal entry times, pupal lengths, pupal exit times, and adult lengths were determined at (0-2), (2-4), and (4-7) day intervals after the larvae hatched. These values were recorded in the table below (Table 1).

Table 1. Growth and development times of *Lucilia sericata* in different food sources.

<i>Lucilia sericata</i>	Liver	Sterile liver-agar
Egg laying time	9-11 hour	7-9 hour
Time of entry into the second larval stage	27-31 hour	23-30 hour
Time of entry into the third larval stage	45-49 hour	41-46 hour
End of prepupa, the first entry into pupa	10th day	7th day
First exit from the pupa	14th day	12th day

Table 2. Length-weight averages of *Lucilia sericata* about food type ($\pm$ means represent standard deviation).

<i>L. sericata</i>	Liver medium		Sterile liver - agar medium	
	Length (mm)	Weight (gr)	Length (mm)	Weight (gr)
(0-2) day L ₁	4.5 $\pm$ 0.097	0.011 $\pm$ 0.001	4.8 $\pm$ 0.079	0.012 $\pm$ 0.001
(2-4) day L ₂	8.8 $\pm$ 0.126	0.024 $\pm$ 0.001	8.9 $\pm$ 0.084	0.025 $\pm$ 0.001
(4-7) day L ₃	12 $\pm$ 0.092	0.060 $\pm$ 0.001	12.3 $\pm$ 0.103	0.062 $\pm$ 0.002
(7-9) day Pupa	7.2 $\pm$ 0.03	---	7.6 $\pm$ 0.019	---
(10-30) day Adult	7.72 $\pm$ 0.013	---	7.9 $\pm$ 0.023	---

In this section, the findings examined and analyzed within the scope of the research are given (Table 2). Descriptive statistics of *L. sericata* larvae (L₁, L₂, L₃), pupae, and adults according to their developmental characteristics in liver and sterile liver-agar food type are given in Table 3.

Table 3. Descriptive Statistics Table for *Lucilia sericata* Larvae (L₁, L₂, L₃), Pupae and Adult Developmental Characteristics in Food Type.

Food type	Measurements	Min.	Max.	Skewness	Kurtosis
Liver	Larva I (L ₁) length	4.340	4.660	0	-1.175
	Larva I (L ₁) weight	0.010	0.013	0	-1.219
	Larva II (L ₂) length	8.760	9.040	0	-1.127
	Larva II (L ₂) weight	0.022	0.026	0	-1.175
	Larva III (L ₃) length	11.850	12.150	0	-1.269
	Larva III (L ₃) weight	0.058	0.062	0	-1.193
	Pupa length	7.150	7.250	0	-1.197
	Adult length	7.700	7.740	0	-0.943
Sterile liver - agar	Larva I (L ₁) length	4.670	4.930	0	-1.227
	Larva I (L ₁) weight	0.011	0.013	0	-1.183
	Larva II (L ₂) length	8.760	9.040	0	-1.127
	Larva II (L ₂) weight	0.023	0.027	0	-1.205
	Larva III (L ₃) length	12.130	12.470	0	-1.182
	Larva III (L ₃) weight	0.059	0.065	0	-1.197
	Pupa length	7.570	7.630	0	-1.174
	Adult length	7.860	7.940	-0.044	-1.163

The length and weight measurements of *L. sericata* larvae fed with liver and liver-agar food and the smallest and largest values of pupal and adult length periods are given according to the periods. The length and weight of pupae and adults generally increased in both food types depending on the larvae's development. The skewness and kurtosis values show that the larval period measurements fed with both food types are normally distributed since they are between ± 1.5 (Table 3). A dependent group t-test was used to determine whether there was a difference between the length and weight measurements of *L. sericata* larvae fed with liver and liver-agar food and the length measurements in pupal and adult stages. The scores were normally distributed, and there were two different measurements for each larva, liver and liver-agar.

A significant difference was obtained between the first larval length, first larval weight, second larval weight, third larval length, third larval weight, third larval weight, pupal length, and adult length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver and liver-agar ($p < 0.05$). *L. sericata* larvae fed with liver-agar were higher than those fed with

liver and for *L. sericata* larvae, feeding with liver-agar increased the measurements compared to feeding with liver. However, there was no difference between the larval length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver-agar and liver ($p > 0.05$) (Table 4).

Table 4. Dependent Groups T-Test between Length and Weight Measurements of *Lucilia sericata* Larvae (L₁, L₂, L₃), Pupae, and Adults fed with Liver and Sterile Liver-agar Food.

Group	Liver	Sterile liver - agar	t	p
	Mean $\pm$ SD	(Mean $\pm$ SD)		
Larvae I (L ₁) length	4.5 $\pm$ 0.097	4.8 $\pm$ 0.079	-13.67	.000*
Larvae I (L ₁) weight	0.011 $\pm$ 0.001	0.012 $\pm$ 0.001	-2.902	0.007*
Larvae II (L ₂) length	8.8 $\pm$ 0.126	8.9 $\pm$ 0.084	0	1
Larvae II (L ₂) weight	0.024 $\pm$ 0.001	0.025 $\pm$ 0.001	-2.083	0.046*
Larvae III (L ₃) length	12 $\pm$ 0.092	12.3 $\pm$ 0.103	-12.379	.000*
Larvae III (L ₃) weight	0.060 $\pm$ 0.001	0.062 $\pm$ 0.002	-5.025	.000*
Pupa length	7.2 $\pm$ 0.03	7.6 $\pm$ 0.019	-62.26	.000*
Adult length	7.72 $\pm$ 0.013	7.9 $\pm$ 0.023	-36.547	.000*

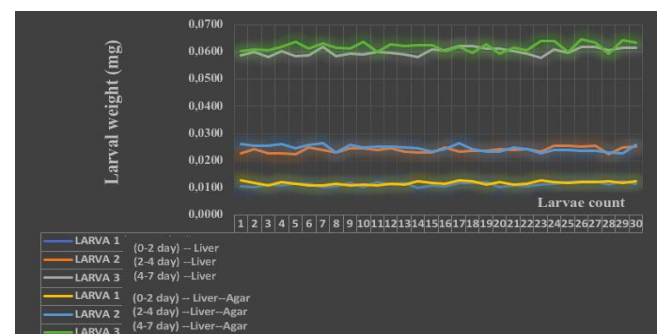
**Figure 1.** *Lucilia sericata* larvae reared on different food media (a) larvae fed with liver, (b) larvae fed with liver-agar.**Figure 2.** *Lucilia sericata* larvae reared on different food media and at 96 hours (a) larvae fed with liver-agar, (b) larvae fed with liver.

Figure 3. Comparison of larval weights of *Lucilia sericata* larvae according to the stages (L1, L2, L3) in liver and liver-agar medium.

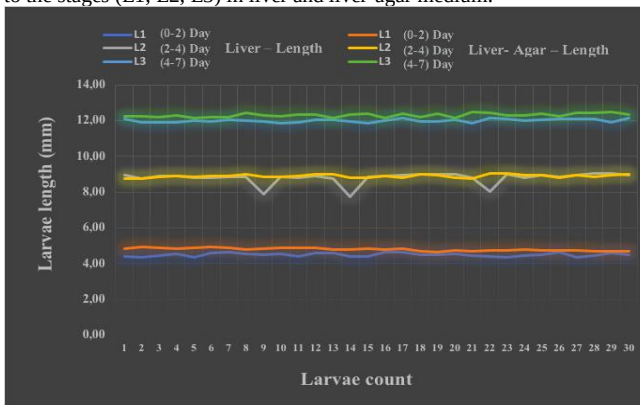


Figure 4. Comparison of the lengths of *Lucilia sericata* larvae according to the stages (L1, L2, L3) in liver and sterile liver-agar medium.

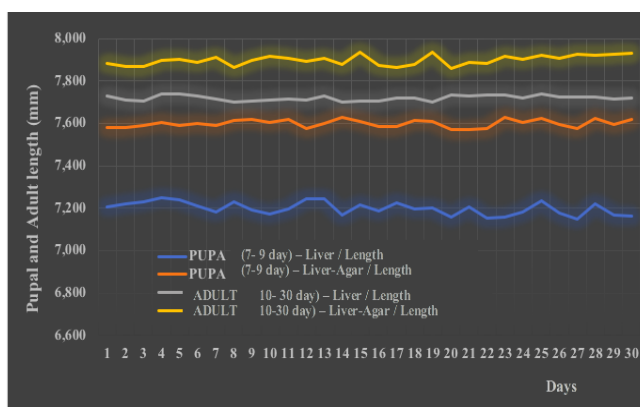


Figure 5. Comparison of pupa and adult lengths in liver and sterile liver-agar medium.

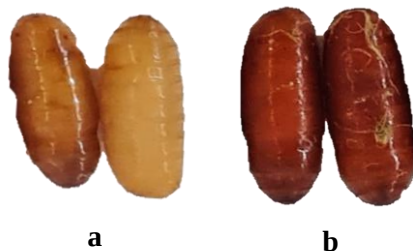


Figure 6. *Lucilia sericata* pupae (a) pupa developing from liver-fed larvae, (b) pupa developing from liver-agar-fed larvae



Figure 7. *Lucilia sericata* adult (a) adult developing from liver-fed larvae, (b) adult developing from liver-agar-fed larvae.

DISCUSSION AND CONCLUSION

It is the subject of the study that supplementation of agar medium to the feeding with liver, which is the known nutrient substrate in the procedure in the cultivation of *L. sericata*, may have an effect on oviposition, development during the larval feeding period, developmental time variability, and the developmental rate and time of pupae developing from larvae and adults developing from pupae after feeding. Our results confirm our hypothesis, although less than the results of developmental variability with different nutrient substrates. Based on our observations and the data we obtained, if conditions affect development during the larval period, it exhibits results that accelerate or slow down the development and process after feeding. For example, the larval density in the maximum feeding stage causes food competition to affect the metamorphosis completed in the puparium (Faris et al., 2020). In most flies, the final adult size is directly proportional to the rate of development (Nijhout et al., 2014). However, individual species-specific weight may vary depending on environmental factors (e.g., bacterial accumulation, food limitation) (Komo & Charabidze, 2021). The rapid increase of microorganisms through the decomposition process of saprophytes deteriorates food quality and adversely affects larval development (Benbow et al., 2019). According to some scientists, even though Calliphorid flies are known as carrion flies, they prefer fresh rather than decaying food (Burkepile et al., 2006). In our study, we observed that the rate of mass larval feeding on fresh liver was at the maximum level, but as the food decayed, the larvae avoided and slowed down feeding. These observations showed the social behavior of the larvae. The food consumed by *L. sericata* under laboratory conditions is a key factor in biological development and population dynamics (Sherman & My-Tien Tran, 1995). When larvae feed, larval activity increases, and thus, the temperature of the food medium increases (Early & Goff, 1986). For this reason, the ambient temperature and humidity in the laboratory were not kept too high and were kept constant at 30°C and 50% humidity. When the hatching times of the eggs of *L. sericata* were placed in different media, the time intervals of the transition of the living larvae to the next stage, the length and weight of the larvae according to the 24th, 48th and 96th hour periods of hatching, the time of first entry into the pupa, pupal length, pupal exit time and adult length were evaluated, no extreme variability was observed in the hatching time of the eggs in both food types. Byrd and Castner, (2001) emphasized that environmental conditions and humidity are the most important factors for egg laying, survival, and hatching. One of the results of our study is the observation that the opening times of the eggs laid on both food types were similar in both species. The similarity in the hatching times of the eggs explains that the humidity ratios

of the liver and liver-agar medium are similar, and the environmental conditions are suitable. Our findings are based on Byrd and Castner (2001). According to Greenberg and Kunich, (2002) larval maturity depends on feeding during the larval period, and the minimum larval weight for maturity is the weight of a few adult flies. In our study, when the level of increase in the weight of the larvae in L1 (0-2), L2 (2-4), and L3 (4-7) day intervals of the larvae were evaluated, it was seen that it was over 100% in both food types. *L. sericata* larval period (L1, L2, L3) weight measurements were significantly different ($p < 0.05$) as a result of dependent groups T Test comparison analysis. Our weight gain results in different food types, which indicates that food type is an important factor for growth and development (Figure 1 and Figure 3), as shown by Greenberg and Kunich, (2002). According to Firoozfar et al., (2011), nutritional differences significantly affect growth and development in *L. sericata* larvae, and food type plays an important role in development. Ronald and Sherman (1995) examined the development of sterile *L. sericata* larvae reared on liver puree and sterile liver-agar. They reported that 79% (± 26) of larvae reared on liver puree were viable, and 92% (± 8) were viable on sterile liver-agar medium. There were no significant differences in the weights of larvae and pupae reared on the two nutrient media. According to the results obtained from our study, the percentage of larvae fed on liver agar medium was higher than the percentage of larvae fed on liver agar medium. A significant difference was obtained between the first instar larval length, first instar larval weight, second instar larval weight, third instar larval length, third instar larval weight, pupal length, and adult length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver and liver-agar ($p < 0.05$). Accordingly, the mean of the first instar larval length (Figure 4), first instar larval weight, (Figure 3), second instar larval weight (Figure 3), third instar larval length (Figure 4), third instar larval weight (Figure 3), pupal length and adult length (Figure 5) measurements of *L. sericata* larvae fed with liver-agar were higher than those fed with liver. Our findings are in agreement with Ronald and Sherman, (1995) but not in agreement with ($p > 0.05$) in the sense that there was no difference between the second instar larval length measurements of *L. sericata* larvae fed with liver-agar and liver ($p > 0.05$). The difference in larval second instar length measurements is due to the competition between the larvae fed at maximum speed.

Greenberg and Kunich, (2002) reported that a newly hatched Calliphorid larva, which was 0.1 milligram, was 0.0840 grams at the end of the fifth day and could increase its weight up to 800 times in 5 days with feeding. According to the findings obtained from our study, in the first period (0–2) days in *L. sericata*, those fed with liver weighed 0.011 ± 0.001 g, and those fed with liver-agar

weighed 0.012 ± 0.001 g. In the third period (4–7) days, those fed with liver weighed 0.060 ± 0.001 g, and those fed with liver-agar weighed 0.062 ± 0.002 g. According to the findings obtained from our study, it was determined that the larvae can increase up to 600-650 times in 5 days, and the high rate of weight gain of the larvae is parallel with the literature data.

Hassan, (2008) and Firoozfar et al., (2011) reported that different food substrates significantly affected larval development and duration in *L. sericata* larvae. According to the findings obtained from *L. sericata* larvae reared on different nutrient substrates, it was determined that the larval viability of larvae reared on liver and liver-agar were similar to each other, and larval weights of *L. sericata* larvae reared on liver-agar were only 3.42% (± 0.69) higher than those reared on liver-agar (Figure 2 and Table 2). Our findings on viability rates and weight gain are by Hassan, (2008) and Firoozfar et al., (2011).

Çakan et al., (2009) investigated the development of *L. sericata* larvae at 24°C, 27°C, 30°C, 35°C, and 50% humidity and obtained the longest larvae at 27°C. According to our findings, the maximum length of larvae was obtained at 30°C temperature and 50% humidity when the working environment was kept constant. Çoban, (2009) reported that the eggs of *L. sericata* opened in 8-11 hours, completed their larval stages in 80-110 hours, and the adult emerged from the pupa in 5-8 days at 27°C-35°C temperature and 45-65% humidity range. According to the findings of our study, it was determined that the eggs of *L. sericata* fed with liver-agar opened in 8-11 hours, completed their larval period between 96-168 hours, entered the pupa on the 6th day, and the adult emerged from the pupa on the 12th day. While our findings are compatible with the findings of Çoban, (2009) regarding egg opening time, they are not compatible with the completion of the larval period and the late emergence of the adult from the pupa. We think this difference is because the temperature and humidity were constant in our study, while the temperature and humidity were not constant in Çoban's (2009) study. Barnes and Gennard (2013) reared sterile *L. sericata* eggs on the non-sterile liver and sterile horse blood-agar medium, and the growth and density rates of larvae reared on blood medium were lower than those reared on the liver. Compared with our study, it was found that the larvae reared on liver and sterile liver-agar medium were better in size than those reared on liver-agar medium. However, there were no significant variations or developmental deviations.

For our findings that pupal development took place at a later time in sterile liver-agar medium compared to sterile liver medium, we think that the completion of metamorphosis in the puparium takes place at a later time, and this may be caused by the delay in the secretion of ecdysone hormone which terminates larval development. The pupae developing from the larvae whose larval development lasted longer in the sterile liver-agar medium

were morphologically darker and larger than those developing from the liver medium. In contrast, those in the liver medium were shorter and lighter in color (Figure 6). The size of the adult individuals developing from the pupae was close to each other in both food types, but the difference in the wing morphotypes of the adults observed on liver-agar medium was remarkable. Wing morphology is analysed in detail using geometric morphometric methods. However, in our study, the left wings of adults from both nutrient media were removed and the longitudinal and transverse vein length was measured to the nearest 0.1 mm under a dissecting microscope and it was observed that the wing size of adults from liver agar medium was larger (Figure 7). In view of the extant literature (Espra et al. 2015), it can be hypothesised that this phenomenon may be attributable to disparities in the growth and development of larvae, as well as the reflection of genetic and environmental conditions.

In conclusion one of the main factors explaining the biological development and population changes of *L. sericata* and the reasons for these changes is the type and amount of food consumed in cultivation under laboratory conditions. Natural diets such as chicken liver or bovine liver, which have high reproductive potential, are often used in aquaculture. However, nowadays, various artificial diets have been developed as an option for maintaining and cultivating *L. sericata*. Although nutrient substrates such as chicken liver or beef liver, which are high in protein, have been used for rearing flies in the laboratory (Sherman & My-Tien Tran, 1995), the decomposition of these nutrient substrates can cause offensive odors due to off-gassing and contamination over time (Tachibana & Numata, 2001). However, the proposed artificial diets must be standardized to meet species-specific nutritional needs. The study we targeted was a comparative analysis of the development and duration of flies on a commonly used natural diet, sterile liver, which has a high moisture content in its nutrient content and a high tendency of female flies to lay eggs, and on an artificial diet, sterile liver-agar medium, which contains both a natural diet and an artificial diet to prevent contamination. The results of this natural diet-integrated artificial diet study in terms of developmental speed and time, hatching from eggs, moving to the next level earlier in each larval stage, completing the pupal adult formation three days earlier on average, and at the same time, larval, pupal and adult larvae in terms of weight and size are more developed compared to the natural diet. Our findings conclude that sterile liver agar media are more suitable for mass production and medical larvae supply without contamination in a short time.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank University researchers for their valuable assistance.

Competing interests: The authors declare no competing interests.

Author contribution: POLAT wrote the original manuscript; KOÇ and MOLLAHALİLOĞLU edited the manuscript and made the final revision. All authors reviewed the manuscript.

Ethics statement: All procedures performed in this experimental study were carried out in accordance with the ethical guidelines for care and use. Ethical approval is not required in such research.

REFERENCES

- Barnes, K.M. & Gennard, D.E. (2013). Rearing bacteria and maggots concurrently: a protocol using *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae) as a model species. *Applied Entomology and Zoology*, **48**, 247-253.
- Benbow, M.E., Barton, P.S., Ulyshen, M.D., Beasley, J.C., DeVault, T.L., Strickland, M.S., & Pechal, J.L. (2019). Necrobiome framework for bridging decomposition ecology of autotrophically and heterotrophically derived organic matter. *Ecological Monographs*, **89**(1), e01331.
- Benbow, M.E. Pechal, J.L. & Mohr, R.M. (2015). Community and landscape ecology of carrion. *Carrion Ecology, Evolution, and Their Applications*, 151-186.
- Bomphrey, R.J., Walker, S.M., & Taylor, G.K. (2009). The typical flight performance of blowflies: measuring the normal performance envelope of *Calliphora vicina* using a novel corner-cube arena. *PLoS One*, **4**(11), e7852.
- Burkepile, D.E., Parker, J.D., Woodson, C.B., Mills, H.J., Kubanek, J., Sobecky, P.A. & Hay, M.E. (2006). Chemically mediated competition between microbes and animals: microbes as consumers in food webs. *Ecology*, **87**(11), 2821-2831.
- Byrd, J.H. & Castner, J.L. (2001). Insects of forensic importance. *Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations*, 43-79.
- Clark, K., Evans, L. & Wall, R. (2006). Growth rates of the blowfly, *Lucilia sericata*, on different body tissues. *Forensic science international*, **156**(2-3), 145-149.
- Cotter, S.C., Kruuk, L.E.B. & Wilson, K. (2004). Costs of resistance: genetic correlations and potential trade-offs in an insect immune system. *Journal of Evolutionary Biology*, **17**(2), 421-429.
- Çoban, E. (2009). Edirne ili Trakya Üniversitesi Güllapoğlu Yerleşkesi'nde adli entomoloji yönünden önem taşıyan Diptera faunasının leş üzerinden toplanması ve taksonomik yönden incelenmesi.
- Early, M. & Goff, M.L. (1986). Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Islands, USA. *Journal of Medical Entomology*, **23**, 520-531.

- El-Moaty, Z.A. & Abd Elmoneim, M.K. (2013).** Developmental variation of the blow fly *Lucilia sericata* (Meigen, 1826) (Diptera: Calliphoridae) by different substrate tissue types. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, **16**(3), 297-300.
- Espra, A. S., Tabugo, S. R. M., Torres, M. A. J., Gorospe, J. G., Manting, M. M. E., & Demayo, C. G. (2015).** Describing dimorphism in wing shapes in the blowfly *Lucilia sericata* Meigen (Diptera: Calliphoridae) using geometric morphometrics. *Advances in Environmental Biology*, **9**(19 S4), 64-71.
- Faris, A.M., West, W.R., Tomberlin, J.K. & Tarone, A.M. (2020).** Field validation of a development data set for *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): estimating insect age based on development stage. *Journal of Medical Entomology*, **57**(1), 39-49.
- Firoozfar, F., Moosa-Kazemi, H., Baniardalani, M., Abolhassani, M., Khoobdel, M. & Rafinejd, J. (2011).** Mass rearing of *Lucilia sericata* Meigen (Diptera: Calliphoridae). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **1**(1), 54-56.
- Gomes, L., Gomes, G., Oliveira, H.G., Sanches, M.R. & Von Zuben, C.J. (2006).** Influence of photoperiod on body weight and depth of burrowing in larvae of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera, Calliphoridae) and implications for forensic entomology. *Revista Brasileira de Entomologia*, **50**, 76-79.
- Greenberg, B. & Kunich, J.C. (2002).** *Entomology and the law: flies as forensic indicators*. Cambridge University Press.
- Gunn, A. (2019).** *Essential forensic biology*. John Wiley & Sons.
- Hassan, A. (2008).** Influence of food type on larval growth in *Lucilia sericata*, London: School of Biosciences, University of Westminster; 1-26 p.
- Komo, L. & Charabidze, D. (2021).** Balance between larval and pupal development time in carrion blowflies. *Journal of Insect Physiology*, **133**, 104292.
- Mohr, R.M. (2012).** *Female blow fly (Diptera: Calliphoridae) arrival patterns and consequences for larval development on ephemeral resources*. Texas A&M University.
- Pallant, J.F. & Tennant, A. (2007).** An introduction to the Rasch measurement model: an example using the Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS). *British Journal of Clinical Psychology*, **46**(1), 1-18.
- Shaaya, E. & Levenbook, L. (1982).** The effects of starvation and 20-hydroxy-ecdysone on feeding and pupariation of early 3rd-instar *Calliphora vicina* larvae. *Journal of Insect Physiology*, **28**(8), 683-688.
- Sherman, R.A. (1995).** What physicians should know about Africanized honeybees. *Western Journal of Medicine*, **163**(6), 541.
- Sherman, R.A. & My-Tien Tran, J.M.A. (1995).** A simple, sterile food source for rearing the larvae of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae), *Medical and Veterinary Entomology* **9**, 393-398.
- Tabachnick, B.G & Fidell, L.S. (2013).** *Using Multivariate Statistics* (6th ed.). Boston: Pearson Publishing.
- Tachibana, S.I. & Numata, H. (2001).** An artificial diet for blow fly larvae, *Lucilia sericata* (Meigen) (Diptera: Calliphoridae). *Applied Entomology and Zoology*, **36**(4), 521-523.
- Tarone, A.M. & Foran, D.R. (2006).** Components of developmental plasticity in a Michigan population of *Lucilia sericata* (Diptera: Calliphoridae). *Journal of Medical Entomology*, **43**(5), 1023-1033.
- Wollina, U., Karte, K., Herold, C. & Looks, A. (2000).** Biosurgery in wound healing—the renaissance of maggot therapy. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, **14**(4), 285-289.



Inhibition Effect of Some Plant Extracts on *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) Acetylcholinesterase

Demet KIZIL*

Bursa Technical University Central Research Laboratory, 16310 Bursa, Türkiye

Received: 04.01.2025

Accepted: 21.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Kızıl, D. (2025). Inhibition effect of some plant extracts on *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) acetylcholinesterase. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 151-158. <https://doi.org/10.35229/jaes.1613209>

Atf yapmak için: Kızıl, D. (2025). Bazı Bitki Ekstraktlarının *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) Asetilkolinesteraz Üzerindeki İnhibisyon Etkisi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 151-158. <https://doi.org/10.35229/jaes.1613209>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-2346-7514>

*Corresponding author's:

Demet KIZIL
Bursa Technical University Central Research
Laboratory, 16310 Bursa, Türkiye
✉: demet.kizil@btu.edu.tr

Abstract: In pest control management, acetylcholinesterase inhibition is one of the important methods. Acetylcholinesterase is the target point of nerve gases and insecticides due to its important role in the nervous system. This study determined the optimum conditions of “*Calliteara pudibunda* acetylcholinesterase” and investigated some of its kinetic properties. Acetylcholinesterase inhibition studies were carried out with known inhibitors of acetylcholinesterase such as tacrine, edrophonium chloride, cypermethrin and aqueous extracts of olive leaf, walnut leaf, walnut shell, cherry laurel leaf and alder leaf. The V_{max} and K_m values of acetylcholinesterase, which showed maximum activity at 40.0 °C and pH 7.0, were determined as 1.7 ± 0.2 EU and 0.18 ± 0.02 mM, respectively. In inhibition studies, the IC_{50} values of tacrine, edrophonium chloride and cypermethrin were found to be 6.5 ± 0.2 , 2.8 ± 0.3 and 6.0 ± 0.8 μ M, respectively. The IC_{50} values of aqueous extracts of olive leaf, alder leaf, cherry laurel leaf, walnut shell and walnut leaf were found to be 1.8 ± 0.2 , 1.8 ± 0.4 , 1.9 ± 0.4 , 2.8 ± 0.6 and 5.8 ± 1.2 μ g dry matter/mL, respectively. In addition, the plant extracts oleuropein and phenolic substance amounts were determined and correlated with IC_{50} values. As a result, these plant extracts used in the study can be recommended as an alternative biopesticide source to control such pests through acetylcholinesterase inhibition.

Keywords: Acetylcholinesterase, biopesticides, *Calliteara pudibunda*, inhibition, pest management.

Bazı Bitki Ekstraktlarının *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) Asetilkolinesteraz Üzerindeki İnhibisyon Etkisi

Öz: Zararlı mücadele yönetiminde asetilkolinesteraz inhibisyonu önemli yöntemlerden biridir. Asetilkolinesteraz sinir sistemindeki önemli rolü nedeniyle sinir gazlarının ve böcek ilaçlarının hedef noktasıdır. Bu çalışmada, *Calliteara pudibunda* asetilkolinesterazının optimum koşulları belirlenmiş ve bazı kinetik özellikleri incelenmiştir. Asetilkolinesteraz inhibisyon çalışmaları, asetilkolinesterazın bilinen inhibitörleri olan takrin, edrofonyum klorür ve sipermetrin ile zeytin yaprağı, ceviz yaprağı, ceviz kabuğu, kiraz defnesi yaprağı ve kızılğaç yapraklarının sulu ekstraktları ile yürütülmüştür. 40.0 °C ve pH 7.0'de maksimum aktivite gösteren asetilkolinesterazın, V_{max} ve K_m değerleri sırasıyla 1.7 ± 0.2 EU ve 0.18 ± 0.02 mM olarak belirlenmiştir. İnhibisyon çalışmalarında kullanılan takrin, edrofonyum klorür ve sipermetrinin IC_{50} değerleri sırasıyla 6.5 ± 0.2 , 2.8 ± 0.3 ve 6.0 ± 0.8 μ M olarak bulunmuştur. Zeytin yaprağı, kızılğaç yaprağı, kiraz defnesi yaprağı, ceviz kabuğu ve ceviz yaprağının sulu ekstraktlarının IC_{50} değerleri sırasıyla 1.8 ± 0.2 , 1.8 ± 0.4 , 1.9 ± 0.4 , 2.8 ± 0.6 ve 5.8 ± 1.2 μ g kuru madde/mL olarak bulunmuştur. Ayrıca bu bitki ekstraktlarının oleuropein ve fenolik madde miktarları belirlenerek IC_{50} değerleri ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak çalışmada kullanılan bu bitki ekstraktlarının asetilkolinesteraz inhibisyonu yoluyla bu tür zararlıların kontrolünde alternatif biyopestisit kaynağı olarak önerilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Asetilkolinesteraz, biyopestisitler, *Calliteara pudibunda*, inhibisyon, haşere yönetimi.

INTRODUCTION

Calliteara pudibunda (Linnaeus, 1758) (Lep.: Erebidae, Lymantriinae), a Lepidoptera species, is a leaf-consuming pest known as the beech pest (Sarıkaya et al., 2021). Since 1810, outbreaks of this pest have been reported in beech and oak forests in many European countries,

including Germany, Sweden, Denmark, Poland, Romania, and Ukraine (Mazzoglio et al., 2005). Its larvae are herbivorous and feed primarily on *Fagus* and *Carpinus*, but also on other deciduous trees, herbaceous plants, and it can cause defoliation of trees (Göktürk & Aksu, 2005; İpekdağ, 2022; Mazzoglio et al., 2005; Sarıkaya et al., 2021;

Trofimova, 2012). In our country, pest species cause epidemics or economic damage are not frequently in beech forests. However, it was determined that *Calliteara pudibunda* (*C. pudibunda*), which was reported to cause damage to alder and birch trees in the Artvin region in 2005 (Göktürk & Aksu, 2005), caused an epidemic in the beech forests located on the Bursa-İnegöl and Kütahya-Domaniç borders in 2019, damaging an area of 453.80 hectares (Sarıkaya et al., 2021). This pest, which was detected in Artvin and Bursa provinces in Turkey, has also been reported to be detected in Balıkesir, Düzce, Giresun, Hatay, İstanbul, Kütahya, Malatya, Sakarya, Samsun and Yalova provinces (İpekdağ, 2022; İpekdağ & Avcı, 2023; Öztürk et al., 2024). According to Sarıkaya (2019), the pest is likely to expand its distribution in our country, especially in the Marmara and Black Sea regions. It has been reported that the fact that the pest feeds polyphagously on other forest trees may pose a significant potential threat to forests (Sarıkaya, 2019).

The forest ecosystem, which is the most basic and indispensable part of human life, vital to importance for humanity in terms of ecosystem services such as carbon sequestration, forest products, biodiversity, and climate change (Akyol & Sarıkaya, 2017; Ding & Eldridge, 2024). Insects, which have a natural role in the forest ecosystem, can multiply excessively for various reasons, including human impact, and can disrupt the balance of the ecosystem by causing damage to forests. For the ecosystem to be sustainable, it is of great importance to keep the factors that make up the ecosystem in balance, protect them, and take the necessary precautions to return them to their natural balance (Akyol & Sarıkaya, 2017; Akyol & Tolunay, 2014).

Acetylcholinesterase (AChE; E.C. 3.1.1.7), found in many conductive tissues, especially nerve, and muscle tissues is a cholinergic enzyme called acetylcholine acetylhydrolase (Duranay et al., 2019; Ramesh et al., 2018). AChE, which plays an important role in neurotransmission, rapidly hydrolyzes the neurotransmitter acetylcholine (ACh) into acetate and choline (~25000 ACh molecules per second) to complete neurotransmission. Because of the important role of AChE in the nervous system, it is the target point of nervous system diseases, nerve gases, and insecticides (Colovic et al., 2013; Wang et al., 2022). The decrease or termination of AChE can lead to nervous system disorders such as nerve overstimulation or blocking of neurotransmission, even paralysis, and death (Colovic et al., 2013; Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Li et al., 2021; Soto-Mancera et al., 2020). Compounds that can reduce or completely stop AChE activity are called AChE inhibitors or anticholinesterases (Colovic et al., 2013; Rampa et al., 2000). AChE inhibitors can be divided into two groups according to their mode of action: reversible and irreversible. Reversible inhibitors, which can be competitive

or non-competitive, are mostly used in therapeutic applications, irreversible inhibitors have been reported to have toxic effects (Colovic et al., 2013; Li et al., 2021). Partial inhibition of AChE activity in the brain by AChE inhibitors that cross the blood-brain barrier increases endogenous acetylcholine levels, which is useful in the symptomatic treatment of diseases such as myasthenia gravis, glaucoma, dementia, and Alzheimer's disease. However, complete inactivation of AChE, which can occur with organophosphate chemical warfare agents such as nerve gases and insecticides, can lead to excessive ACh accumulation, resulting in paralysis or death (Li et al., 2021; Patočka et al., 2004). Because of this important role of AChE in the nervous system, pest control studies have focused on AChE inhibition (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Gao et al., 1998; Keane & Ryan, 1999; Li & Han, 2002; Mohamed et al., 2020). AChE studies in both mammals and insects have generally used AChE obtained from body tissues or whole-body homogenates due to their proximity to the cellular environment (Keane & Ryan, 1999; Li & Han, 2002; Moores et al., 1994).

Organophosphates, pyrethrins, and carbamates, which are among the pesticides widely used in agriculture, have toxic effects and the presence of their residues in air, food, groundwater, water, and soil has become a major problem for the environmental and health concern (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Farag et al., 2021; Li et al., 2021; Mdegela et al., 2010; Poirier et al., 2017; Pundir & Chauhan, 2012; Vinotha Alex & Mukherjee, 2021). The residues of these pesticides, which can be mutagenic, can reach living organisms and accumulate in food chains, even damaging their genetic structures (Aydoğdu et al., 2017; Aydoğdu & Güner, 2012). Their toxicity is based on the inhibition of AChE, which is necessary for the functioning of the central nervous system. Organophosphate and carbamate pesticides, which bind to the serine residue in the active site of AChE with a covalent bond, inhibit AChE and cause the accumulation of the neurotransmitter acetylcholine. This disrupts the transmission of electrical nerve impulses at synapses in the nervous system, causing respiratory and myocardial failures, paralysis, and even death of the insect (Abou-Donia, 2003; Colovic et al., 2013; Pundir & Chauhan, 2012; Soto-Mancera et al., 2020). Cypermethrin, one of the pyrethrins widely used in agricultural, veterinary, and domestic pest management, acts as a fast-acting neurotoxin in insects. Even low concentrations of this pesticide have been reported to have toxic effects on the brains of laboratory animals, many fish, and aquatic invertebrates (Farag et al., 2021; Prusty et al., 2015; Singh et al., 2014). Considering these negative effects on humans and animals, it is clear that the use of such pesticides to control forest pests would not be appropriate from a health, environmental and thus ecosystem

perspective. In order to eliminate these negative effects, alternative natural herbal products that are safe, environmentally friendly and inexpensive as an alternative to pesticides are attracting attention and being researched (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Poirier et al., 2018; Rosell et al., 2008).

The aim of this study was to investigate alternative biopesticides that could be used instead of pesticides in the control of *C. pudibunda*, which causes extensive damage to beech forests. For this purpose, the inhibitory effects of tacrine, cypermethrin, and edrophonium chloride which are AChE specific inhibitors, and aqueous extracts of olive leaf, walnut leaf, alder leaf, cherry laurel leaf and walnut shell on *C. pudibunda* AChE were investigated.

MATERIAL AND METHOD

Materials: The chemicals used in the study were purchased from Sigma-Aldrich Company. *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) samples was collected from pure beech and beech-oak mixed stands at an average altitude of 500 m in the Şahmelek neighbourhood of the Karacabey district of Bursa province, Turkey, and stored at -20 °C. Olive leaves (*Olea europaea sativa* L.), walnut leaves (*Juglans regia* L.), and walnut shells (*Juglans regia* L.) were collected from Bursa, cherry laurel leaves (*Laurocerasus officinalis* L.), and alder leaves (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*) were collected from Trabzon. These leaves dried at room temperature were ground to powder using a grinder and then passed through a 60-mesh sieve to use for in extraction.

Methods:

Crude Extract Preparation: Approximately 5 grams of *Calliteara pudibunda* samples was homogenised in 20 mL of 50 mM pH 7.4 sodium phosphate buffer containing 0.5% Triton X-100 and 1 mM EDTA in an ice bath. The supernatant obtained by centrifugation of the homogenate at 20,000xg for 45 minutes at 4°C was filtered through a syringe filter unit with a pore size of 0.45 µm and used as the crude extract (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Son et al., 2002).

Enzyme Assay: AChE activity was determined spectrophotometrically in the presence of acetylthiocholine iodide (ATC) substrate (Ellman et al., 1961). The volume of the mixture consisting of 1.5 mM ATC, 0.2 mM 5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid) (DTNB) and enzyme solution was filled up to 1 mL with 0.1 M (pH 8.0) phosphate buffer. The change in absorbance of the yellow compound formed as a result of the enzymatic reaction was recorded at a wavelength of 412 nm for 20 minutes. The amount of enzyme that converts 1.0 µM of substrate into the product in one minute at 25 °C under optimal conditions is one enzyme unit (EU) (Cavdar et al., 2019; Dinçer & Kızıl, 2022; Ellman et al., 1961; Son et al., 2002). The kinetic parameters,

Michaelis–Menten constant (K_m), and maximal enzyme velocity (V_{max}) were calculated using Lineweaver and Burk plots (Lineweaver & Burk, 1934).

Oleuropein Analysis by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC): High-performance liquid chromatography was used to determine the oleuropein content of plant extracts. The chromatographic method conditions applied in HPLC were prepared according to Ansari et al (Ansari et al., 2011). Standard oleuropein standard solutions were prepared at different concentrations ranging from 0.005 to 0.5 mM. The peak areas of these solutions at retention times were determined and a calibration graph was drawn. The oleuropein contents of plant extracts was determined by HPLC analysis using this calibration graph.

Determination of Total Phenolic Content: The total phenolic content of the plant extracts was determined using the Folin-Ciocalteu reagent at 760 nm. The calibration curve was established with aqueous solutions of gallic acid prepared at different concentrations ranging from 0.005 to 0.5 mM. The change in absorbances with gallic acid solutions and plant extracts was measured at 760 nm. The results were expressed as Gallic Acid Equivalent (GAE) determined by the regression equation of the calibration curve (Hayouni et al., 2007; Lister & Wilson, 2001).

AChE Inhibition: AChE inhibition studies were carried out in the presence of ATC substrate under optimal conditions. The inhibitor concentration that reduced the enzyme activity by 50% was determined as the IC_{50} value. Solutions of tacrine, edrophonium chloride, and cypermethrin known as specific inhibitors of AChE, were prepared in the concentration ranges 1-50 µM (Dinçer & Kızıl, 2022; Mohamed et al., 2020). The plants were dried in the shade and subsequently pulverised using a grinder. Approximately 1.2 g of dry plant leaf powder was extracted in 20 mL of distilled water in a shaking water bath for 24 hours and centrifuged at 10,000xg for 30 minutes. The solvents of the obtained solutions were removed by evaporator at 60 °C under reduced pressure. The remaining dry substances were scraped with a spatula and weighed with a precision of 0.0001. Distilled water solutions with a concentration range of 1-100 µg dry matter/mL were prepared from the quantified dry matter and used in inhibition studies. (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Acet, 2019). The inhibitory effects of all the prepared inhibitor solutions on the AChE activity of *C. pudibunda* were determined, and the IC_{50} values of AChE were calculated by plotting the percentage inhibition graphs against the inhibitor concentrations.

RESULTS AND DISCUSSION

The AChE activity of *C. pudibunda* was found to be optimal at 40.0±0.1 °C and pH 7.00±0.05. It was observed

that AChE of *C. pudibunda* lost its activity by approximately 42% - 60% between pH 4.0 and 6.0 and by approximately 18% - 68% between pH 8.0 and 10.0. It can be said that this AChE is quite sensitive to pH (Table 1, Fig 1). The optimum conditions are consistent with the optimum conditions of many AChEs in the literature (Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kızıl, 2022; Duranay et al., 2019; Meng et al., 2016; Mohamed et al., 2020; Prabhakaran & Kamble, 1996; Shi & Zhang, 1981).

Table 1. Kinetic parameters of *C. pudibunda* AChE.

Optimal pH	Optimal Temperature (°C)	V _{max} (EU)	K _m (mM)
7.00±0.05	40.0±0.1	1.7±0.2	0.18±0.02

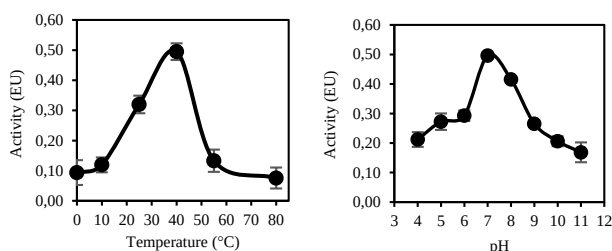


Fig 1. The graphs of *C. pudibunda* AChE activity versus temperature and pH.

AChE kinetic parameters of *C. pudibunda* in the presence of ATC were determined by the Lineweaver-Burk plot. The V_{max} and K_m values for the hydrolysis of ATC used as a substrate were determined as 1.7±0.2 EU and 0.18±0.02 mM, respectively (Table 1 and Fig.2).

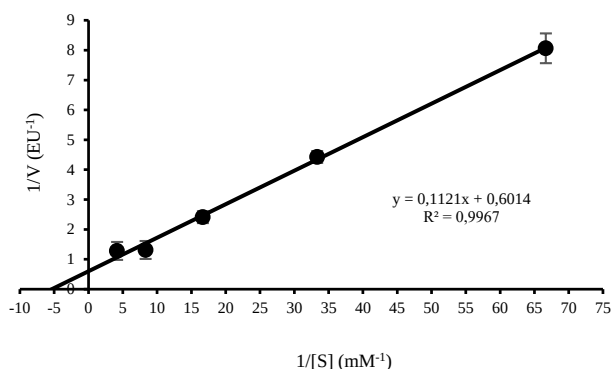


Fig 2. The Lineweaver-Burk plot of *C. pudibunda* AChE.

The K_m value of *C. pudibunda* AChE was found to be greater than the K_m values of *Halyomorpha halys* (0.02±0.006 mM) (Dinçer & Akpınar, 2023), *Ricania*

simulans adult (0.04±0.01 mM), and *Ricania simulans* nymph (0.02±0.01 mM) AChEs (Dinçer & Kızıl, 2022) and is smaller than the K_m values of *Mytilus galloprovincialis* (1.3 mM) (Duranay et al., 2019), *Scomberomorus niphonius* (0.311 mM) (Zhu et al., 1993), and *Heterorhabditis bacteriophora* (0.27 mM) (Mohamed et al., 2007). The K_m value of AChE in *C. pudibunda* was found to be nearly to the K_m values of AChE from *Oreochromis aurea* (0.183 mmol/L) (Ding et al., 2011), *Pseudosciaena crocea* muscle (0.125 mmol/L) (Dong, 1995), and *Nebia albiflora* muscle (0.10 mM) (Shi & Zhang, 1981). The V_{max} value of the AChE of *C. pudibunda* (1.7 EU) was found to be close to the V_{max} values of the AChEs of *Halyomorpha halys* (0.99 EU) (Dinçer and Akpınar, 2023), *Ricania simulans* adult (1.2 EU) (Dinçer and Kızıl, 2022) and *Ricania simulans* nymph (0.9 EU). It is lower than the V_{max} values given for *Nebia albiflora* muscle (100 EU) (Shi & Zhang, 1981), and *Pseudosciaena crocea* muscle (125 EU) (Dong, 1995).

The IC₅₀ values of the competitive AChE inhibitors tacrine and edrophonium chloride used in the inhibition studies were determined to be 6.5±0.2 and 2.8± 0.3 μM, respectively. In addition, the IC₅₀ value of cypermethrin, which is widely used in pest control, was found to be 6.0±0.8 μM. It was observed that the known inhibitors were effective against *C. pudibunda* AChE (Table 2). In the inhibition study of AChE purified from *Halyomorpha halys*, the IC₅₀ value of cypermethrin was determined to be 9.2±0.5 μM (Akpınar, 2024). In the literature, when tacrine and edrophonium chloride were used as inhibitors, IC₅₀ values for AChEs obtained from different sources were reported as 0.08±0.003, and 15.0±1.0 μM for *Halyomorpha halys* (Dinçer & Akpınar, 2023), 18.0±1.9, and 2.4±0.3 μM for *Ricania simulans* adults, 1.2±0.4, and 0.6±0.09 μM for *Ricania simulans* nymphs (Dinçer & Kızıl, 2022), and 9.16 and 0.68 μM for *Electrophorus electricus* (Mutunga et al., 2009), respectively. In the inhibition study of AChE of German cockroach (*Blattella germanica*) with tacrine, the IC₅₀ value was found to be 68 nM (Mutunga et al., 2009). The IC₅₀ values obtained from the inhibition of AChEs are seen to be consistent with the data reported in the literature. The fact that these specific inhibitors are effective against *C. pudibunda* AChE activity is evidence that the enzyme used in the study is AChE.

Table 2. IC₅₀ values of the AChE of *C. pudibunda* in the presence of ATC.

Substance	IC ₅₀	OLE Concentration of the plant leaves extracts (mM)	Total Phenolic Amount GAE) (mM)
Tacrine	6.5±0.2 μM	-	-
Edrophonium chloride	2.8± 0.3 μM	-	-
Cypermethrin	6.0±0.8 μM	-	-
Olive leaf aqueous extract (<i>Olea europaea sativa</i> L.)	1.8± 0.2 μg dry matter/mL	0.27±0.05	1.7±0.3
Alder leaf aqueous extract (<i>Alnus glutinosa</i> subsp. Barbata)	1.8±0.4 μg dry matter/mL	0.25±0.08	1.6±0.4
Cherry laurel leaf aqueous extract (<i>Laurocerasus officinalis</i> L.)	1.9±0.4 μg dry matter/mL	0.09±0.04	1.2±0.2
Walnut shell aqueous extract (<i>Platanus orientalis</i> L.)	2.8±0.6 μg dry matter/mL	0.09±0.02	1.0±0.3
Walnut leaf aqueous extract (<i>Juglans regia</i> L.)	5.8±1.2 μg dry matter/mL	0.08±0.03	0.9±0.4

Aqueous extracts of plants were used in inhibition studies on *C. pudibunda* AChE and the highest inhibition effect were observed in the olive leaf (IC_{50} : 1.8 ± 0.2 μ g dry matter/mL) and alder leaf extract (IC_{50} : 1.8 ± 0.4 μ g dry matter/mL), followed by cherry laurel leaf (IC_{50} : 1.9 ± 0.4 μ g dry matter/mL), walnut shell (IC_{50} : 2.8 ± 0.6 μ g dry matter/mL), and walnut leaf (IC_{50} : 5.8 ± 1.2 μ g dry matter/mL) (Table 2). The IC_{50} value of the olive leaf extract used in this study for AChE in *C. pudibunda* was determined to be lower than the IC_{50} values of *Halyomorpha halys* (20.3 ± 0.9 μ g dry matter/mL) (Dinçer & Akpınar, 2023), *Ricania simulans* adults (20.3 ± 1.2 μ g dry matter/mL), and *Ricania simulans* nymphs (16.2 ± 0.8 μ g dry matter/mL) (Dinçer & Kizil, 2022). In addition, the IC_{50} values reported for alder leaf and walnut leaf extracts are lower than those reported for *Halyomorpha halys* (IC_{50} for alder leaf: 19.0 ± 1.7 μ g dry matter/mL, and IC_{50} for alder leaf: 108.0 ± 40 μ g dry matter/mL) (Dinçer & Akpınar, 2023). It was observed that the IC_{50} values in this study were consistent with other data in the literature, and as can be understood from the literature, differences in the IC_{50} values of the inhibitors used are observed by changing the source of the AChE enzyme.

Oleuropein concentrations of aqueous plant extracts were determined according to the equation ($y=785.96x$; $R^2=0.99$) obtained from the oleuropein standard calibration. It was calculated as 0.27 ± 0.05 mM in olive leaf, 0.25 ± 0.08 mM in alder leaf, 0.09 ± 0.04 mM in cherry laurel leaf, 0.09 ± 0.02 in walnut shell, and 0.08 ± 0.03 mM in walnut leaf (Table 2). The total phenolic contents of aqueous plant extracts was determined according to the equation obtained from the calibration curve drawn with gallic acid standard ($y = 2.1454x$; $R^2 = 0.99$) and the results were expressed as GAE. The total phenolic content of olive leaf, alder leaf, cherry laurel leaf, walnut shell, and walnut leaf extracts were determined to be 1.7 ± 0.3 mM, 1.6 ± 0.4 mM, 1.2 ± 0.2 mM, 1.0 ± 0.3 mM, and 0.9 ± 0.4 mM, respectively (Table 2). Many local plant compounds used pest control are known to have an inhibitory effect on the AChE of insects (Abdellaoui et al., 2019; Grdiša & Gršić, 2013; Gülçin et al., 2020). It has been reported that polyphenols may have anti-nutritional properties due to their ability to inhibit digestive proteases and hydrolases, which are detrimental to insect growth and development (Céspedes et al., 2004). Many studies have shown that olive (*Olea europaea* sativa L.) leaves exhibit strong biological activities due to their high content of phenolic compounds, and these strong effects have been identified especially with oleuropein (Ben Hamouda et al.,

2015; Dinçer & Akpınar, 2023; Dinçer & Kizil, 2022; Jemai et al., 2009; Zari & Al-Attar, 2011).

As a result, according to the data obtained in this study, the plant extracts that show the best inhibitory effect

can be used periodically in forest areas where the pest is present. Ingestion of the substances in these plants, both through diet and inhalation, causes the inhibition of AChE in the pest, resulting in ACh accumulation in nerve cells. ACh, which accumulates particularly in nerve endings, causes paralysis of nerve conduction, which can lead to paralysis or death of the pest. In the context of the forest ecosystem, this recommended use allows pest populations to be controlled with aqueous plant extracts without the need for chemical pesticides.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank my institutional managers for their support in this study conducted at the Central Research Laboratory of Bursa Technical University, Tutku Gencal and Prof. Dr. Oğuzhan Sarıkaya for their help in the collection and identification of *C. pudibunda* pest, and my family for their support.

REFERENCES

- Abdellaoui, K., Boussadia, O., Miladi, M., Boughattas, I., Omri, G., Mhafdh, M., Hazzoug, M., Acheuk, F. & Braham, M. (2019). Olive leaf extracts toxicity to the migratory locust, *Locusta migratoria*: Histopathological effects on the alimentary canal and acetylcholinesterase and glutathione S-transferases activity. *Neotropical Entomology*, **48**, 246-259. DOI: [10.1007/s13744-018-0628-1](https://doi.org/10.1007/s13744-018-0628-1)
- Abou-Donia, M.B. (2003). Organophosphorus ester-induced chronic neurotoxicity. *Archives of Environmental Health*, **58**(8), 484-497. DOI: [10.3200/AEOH.58.8.484-497](https://doi.org/10.3200/AEOH.58.8.484-497)
- Acet, T. (2019). A study on antioxidant properties and antimicrobial activity of various extracts of *Carduus adpressus*. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **4**(2), 409-413. DOI: [10.35229/jaes.619647](https://doi.org/10.35229/jaes.619647)
- Akpınar, H. (2024). *Halyomorpha halys*'dan asetilkolinesterazın saflaştırılması ve inhibisyonu. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Rize, Türkiye, 41s
- Akyol, A. & Sarıkaya, O. (2017). Situation and evaluation of biological and chemical control applications for forest in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, **15**(4), 341-353. DOI: [10.15666/aeer/1504_341353](https://doi.org/10.15666/aeer/1504_341353)
- Akyol, A. & Tolunay, A. (2014). Sürdürülebilir orman yönetimi ölçüt ve göstergelerinin Türkiye için modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry / Türkiye Ormancılık Dergisi*, **15**(1), 21. DOI: [10.18182/tjf.15028](https://doi.org/10.18182/tjf.15028)
- Ansari, M., Kazemipour, M., & Fathi, S. (2011). Development of a simple green extraction procedure and HPLC method for determination of oleuropein in olive leaf extract applied to a multi-source comparative study. *Journal of the Iranian*

- Chemical Society, 8(1), 38-47. DOI: [10.1007/BF03246200](https://doi.org/10.1007/BF03246200)
- Aydoğdu, M., Gokalp, F.D. & Guner, U. (2017).** Toxic Effects of Pyrethrums LambdaCyhalothrin and Alpha-Cypermethrin on Pest Archips Rosana (Lepidoptera: Tortricidae) and Its Common Parasitoid. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(3), 2436-2445.
- Aydoğdu, M. & Güner, U. (2012).** Effects of 5 different insecticides on mortality of the Leafroller parazitoid Itopectis maculator (Fabricius, 1775) (Ichneumonidae, Hymenoptera). *Türk. Entomol. Bül.*, 2(4), 243-249, 2012.
- Ben Hamouda, A., Boussadia, O., Khaoula, B., Laarif, A. & Braham, M. (2015).** Studies on insecticidal and deterrent effects of olive leaf extracts on *Myzus persicae* and *Phthorimaea operculella*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(6), 294-297.
- Cavdar, H., Senturk, M., Guney, M., Durdagi, S., Kayik, G., Supuran, C.T. & Ekinci, D. (2019).** Inhibition of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase with uracil derivatives: kinetic and computational studies. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 34(1), 429-437. DOI: [10.1080/14756366.2018.1543288](https://doi.org/10.1080/14756366.2018.1543288)
- Céspedes, C.L., Torres, P., Marín, J.C., Arciniegas, A., Romo De Vivar, A., Pérez Castorena, A.L. & Aranda, E. (2004).** Insect growth inhibition by tocotrienols and hydroquinones from *Roldana barba-johannis*. *Phytochemistry*, 65(13), 1963-1975. DOI: [10.1016/j.phytochem.2004.03.037](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.03.037)
- Colovic, M.B., Krstic, D.Z., Lazarevic Pasti, T.D., Bondzic, A.M. & Vasic, V.M. (2013).** Acetylcholinesterase inhibitors: Pharmacology and toxicology. *Current Neuropharmacology*, 11(3), 315-335. DOI: [10.2174/1570159x11311030006](https://doi.org/10.2174/1570159x11311030006)
- Dinçer, B. & Akpınar, H. (2023).** Purification of acetylcholinesterase from *Halyomorpha halys* (Stål) (Heteroptera: Pentatomidae) and management of control of the Pest through inhibition of the enzyme. *International Journal of Tropical Insect Science*, 43(5), 1421-1429. DOI: [10.1007/s42690-023-01047-x](https://doi.org/10.1007/s42690-023-01047-x)
- Dinçer, B. & Kızıl, D. (2022).** Inhibition and purification of acetylcholinesterases from adults and nymphs of *Ricania simulans* (Walker, 1851) (Hemiptera: Ricaniidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 42(5), 3363-3372. DOI: [10.1007/s42690022-00835-1](https://doi.org/10.1007/s42690022-00835-1)
- Ding, J. & Eldridge, D. (2024).** Intensifying aridity induces tradeoffs among biodiversity and ecosystem services supported by trees. *Global Ecology and Biogeography*, 1-13. DOI: [10.1111/geb.13894](https://doi.org/10.1111/geb.13894)
- Ding, Y., Wu, X. & Fang, J. (2011).** Purification and characterization of acetylcholinesterase from brain tissues of *Oreochromis aurea* and its application in environmental pesticide monitoring. *Sciences in Cold and Arid Regions*.
- Dong Z.H. (1995).** Purification of cholinesterase from *Pseudosciaena crocea* muscle. *Chin Biocem J.*, 11(4), 487-489.
- Duranay, S., Anil, S., Hasbal, G. & Özsoy, N. (2019).** Purification of acetylcholinesterase from the mollusc *Mytilus galloprovincialis* Lam. and investigation of its kinetic properties. *Journal of Research in Pharmacy*, 23(4), 759-769. DOI: [10.12991/jrp.2019.185](https://doi.org/10.12991/jrp.2019.185)
- Ellman, G.L., Courtney, K.D., Andres, V. & Featherstone, R.M. (1961).** A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochemical Pharmacology*, 7(2), 2-3. DOI: [10.1016/0006-2952\(61\)90145-9](https://doi.org/10.1016/0006-2952(61)90145-9)
- Farag, M.R., Alagawany, M., Bilal, R.M., Gewida, A.G.A., Dhama, K., Abdel-Latif, H.M.R., Amer, M.S., Rivero-Perez, N., Zaragoza-Bastida, A., Binnaser, Y.S., Batiha, G.E.S. & Naiel, M.A.E. (2021).** An overview on the potential hazards of pyrethroid insecticides in fish, with special emphasis on cypermethrin toxicity. *Animals*, 11(7). DOI: [10.3390/ani11071880](https://doi.org/10.3390/ani11071880)
- Gao, J., Rao, J.V., Wilde, G.E. & Zhu, K.Y. (1998).** Purification and kinetic analysis of acetylcholinesterase from *Western Corn Rootworm, Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Arch. Insect. Biochem. Physiol.*, 39(3), 118-125. DOI: [10.1002/\(SICI\)1520-6327\(1998\)39:3<118::AID-ARCH4>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1998)39:3<118::AID-ARCH4>3.0.CO;2-6)
- Göktürk, T. & Aksu, Y. (2005).** Artvin ili ormanlık alanlarında tespit edilen *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)'nın (Lepidoptera; Lymantriidae) morfolojisi, biyolojisi ve beslenme özellikleri üzerine bir araştırma. *Orman Mühendisliği*, 43, 34-35.
- Grdiša, M. & Gršić, K. (2013).** Botanical insecticides in plant protection. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78(2), 85-93.
- Gülçin, İ., Gören, A.C., Taslimi, P., Alwasel, S.H., Kılıç, O. & Bursal, E. (2020).** Anticholinergic, antidiabetic and antioxidant activities of Anatolian pennyroyal (*Mentha pulegium*)-analysis of its polyphenol contents by LC-MS/MS. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (23 November 2019). DOI: [10.1016/j.cbab.2019.101441](https://doi.org/10.1016/j.cbab.2019.101441)
- Hayouni, E.A., Abedrabba, M., Bouix, M. & Hamdi, M. (2007).** The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccifera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. *Food Chemistry*, 105(3), 1126-1134. DOI: [10.1016/j.foodchem.2007.02.010](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.02.010)
- İpekdağ, K. (2022).** A theoretical approach to the pale tussock moth outbreak in Turkey. *Turkish Journal*

- of Forestry Türkiye Ormancılık Dergisi, 23(3), 212-217.
- Ipekdağ, K. & Avcı, M. (2023).** Pale tussock moth, *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera; Erebididae) with a focus on its situation in Türkiye. *EPPO Bulletin*, 53(1), 120-131. DOI: [10.1111/epp.12904](https://doi.org/10.1111/epp.12904)
- Jemai, H., El Feki, A. & Sayadi, S. (2009).** Antidiabetic and antioxidant effects of hydroxytyrosol and oleuropein from olive leaves in alloxan-diabetic rats. *J Agric Food Chem*, 57(19), 8798-8804.
- Keane, S. & Ryan, M.F. (1999).** Purification, characterisation, and inhibition by monoterpenes of acetylcholinesterase from the waxmoth, *Galleria mellonella* (L.). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 29(12), 1097-1104. DOI: [10.1016/S09651748\(99\)00088-0](https://doi.org/10.1016/S09651748(99)00088-0)
- Li, F. & Han, Z. (2002).** Purification and characterization of acetylcholinesterase from cotton aphid (*Aphis gossypii* glover). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 51(1), 37-45. DOI: [10.1002/arch.10048](https://doi.org/10.1002/arch.10048)
- Li, S., Zhao, J., Huang, R., Travers, J., Klumpp-Thomas, C., Yu, W., Mackerell, A.D., Sakamuru, S., Ooka, M., Xue, F., Sipes, N.S., Hsieh, J.H., Ryan, K., Simeonov, A., Santillo, M.F. & Xia, M. (2021).** Profiling the tox21 chemical collection for acetylcholinesterase inhibition. *Environmental Health Perspectives*, 129(4). DOI: [10.1289/EHP6993](https://doi.org/10.1289/EHP6993)
- Lineweaver, H. & Burk, D. (1934).** The determination of Enzyme Dissociation Constants. *Journal of the American Chemical Society*, 56. DOI: [10.1021/ja01318a036](https://doi.org/10.1021/ja01318a036)
- Lister, E. & Wilson, P. (2001).** Measurement of total phenolics and ABTS assay for antioxidant activity (personal communication). *Crop Research Institute, Lincoln, New Zealand*, 7, 235-239.
- Mazzoglio, P.J., Paoletta, M., Patetta, A. & Currado, I. (2005).** *Calliteara pudibunda* (Lepidoptera Lymantriidae) in Northwest Italy. *Bulletin of Insectology*, 58(1), 25-34.
- Mdegela, R.H., Mosha, R.D., Sandvik, M. & Skaare, J.U. (2010).** Assessment of acetylcholinesterase activity in *Clarias gariepinus* as a biomarker of organophosphate and carbamate exposure. *Ecotoxicology*, 19(5), 855-863.
- Meng, X., Li, C., Xiu, C., Zhang, J., Li, J., Huang, L., Zhang, Y. & Liu, Z. (2016).** Identification and biochemical properties of two new acetylcholinesterases in the pond Wolf spider (*Pardosa pseudoannulata*). *PloS One*, 11(6), 1-14.
- Mohamed, M.A., Abdel-Gawad, A.S., & Ghazy, A.E.M. (2007).** Purification and characterization of an acetylcholinesterase from the infective juveniles of *Heterorhabditis bacteriophora*. *Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology*, 146(3), 314-324. DOI: [10.1016/j.cbpc.2007.04.001](https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.04.001)
- Mohamed, M.A., Shaalan, S., Ghazy, A.E.M., Ali, A.A., Abd-Elaziz, A.M., Ghanem, M.M.E. & Abd-Elghany, S.A. (2020).** Purification and characterization of acetylcholinesterase in *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1029-1040. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2019.10.071](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.071)
- Moore, G.D., Devine, G. J. & Devonshire, A.L. (1994).** Insecticide resistance due to insensitive acetylcholinesterase in *Myzus persicae* and *Myzus nicotianae*. Proceedings Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases, 1994, 413-418.
- Mutunga, J. M., Anderson, T. D., Wong, D. M., Carlier, P. R. & Bloomquist, J. R. (2009).** Inhibition of *Blattella germanica* acetylcholinesterase by Bis(n)-tacrine: Prospects for the molecular design of a selective insecticide for a household pest. *ACS Symposium Series*, 1015, 41-51. DOI: [10.1021/bk-2009-1015.ch004](https://doi.org/10.1021/bk-2009-1015.ch004)
- Öztürk, N., Yüksel, B., Baysal, İ. & Akbulut, S. (2024).** The determination of harmful hymenoptera and lepidoptera species in forest nurseries in the Western Black Sea Region of Türkiye. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 92-103. DOI: [10.17475/kastorman.1460642](https://doi.org/10.17475/kastorman.1460642)
- Patočka, J., Kuča, K. & Jun, D. (2004).** Acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase important enzymes of human body. *Acta Medica*, 47(4), 215-229. DOI: [10.14712/18059694.2018.104](https://doi.org/10.14712/18059694.2018.104)
- Poirier, L., Brun, L., Jacquet, P., Lepolard, C., Armstrong, N., Torre, C., Daudé, D., Ghigo, E. & Chabrière, E. (2017).** Enzymatic degradation of organophosphorus insecticides decreases toxicity in planarians and enhances survival. *Scientific Reports*, 7(1), 15194. DOI: [10.1038/s41598-017-15209-8](https://doi.org/10.1038/s41598-017-15209-8)
- Poirier, L., Jacquet, P., Plener, L., Masson, P., Daudé, D., & Chabrière, E. (2018).** Organophosphorus poisoning in animals and enzymatic antidotes. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-26. DOI: [10.1007/s11356-018-2465-5](https://doi.org/10.1007/s11356-018-2465-5)
- Prabhakaran, S.K. & Kamble, S.T. (1996).** Biochemical characterization and purification of esterases from three strains of German cockroach, *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 31(1), 73-86. DOI: [10.1002/\(SICI\)1520-6327\(1996\)31:1<73::AID-ARCH5>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6327(1996)31:1<73::AID-ARCH5>3.0.CO;2-Y)
- Prusty, A.K., Meena, D.K., Mohapatra, S., Panikkar, P., Das, P., Gupta, S.K. & Behera, B.K. (2015).** Synthetic pyrethroids (Type II) and freshwater fish culture: Perils and mitigations. *International Aquatic Research*, 7(3), 163-191. DOI: [10.1007/s40071-015-0106-x](https://doi.org/10.1007/s40071-015-0106-x)
- Pundir, C.S. & Chauhan, N. (2012).** Acetylcholinesterase inhibition-based biosensors for pesticide determination: A review. *Analytical*

- Biochemistry, **429**(1), 19-31. DOI: [10.1016/j.ab.2012.06.025](https://doi.org/10.1016/j.ab.2012.06.025)
- Ramesh, B., Rajesh, B., Bhargav, P.R.K. & Devi, N.V. (2018).** Study of Acetyl cholinesterase (Ache) Gene Expression And its Relation with RNA Content in Brain of Five Different Vertebrate Species. *J Biotechnol Biochem*, **4**(2), 21-40. DOI: [10.9790/264X0402012140](https://doi.org/10.9790/264X0402012140)
- Rampa, A., Bisi, A., Belluti, F., Gobbi, S., Valenti, P., Andrisano, V., Cavrini, V., Cavalli, A. & Recanatini, M. (2000).** Acetylcholinesterase inhibitors for potential use in Alzheimer's disease: Molecular modeling, synthesis and kinetic evaluation of 11H-indeno-[1,2-b]quinolin-10-ylamine derivatives. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, **8**(3), 497-506. DOI: [10.1016/S0968-0896\(99\)00306-5](https://doi.org/10.1016/S0968-0896(99)00306-5)
- Rosell, G., Quero, C., Coll, J. & Guerrero, A. (2008).** Biorational insecticides in pest management. *Journal of Pesticide Science*, **33**(2), 103-121. DOI: [10.1584/jpestics.R08-01](https://doi.org/10.1584/jpestics.R08-01)
- Sarıkaya, O. (2019).** Türkiye Kayın Ormanları İçin Yeni Bir Tehdit *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758)'nın Günümüz ve Gelecekteki Potansiyel Yayılış Alanlarının Tahmini. *European Journal of Science and Technology*, **4**(17), 45-57. DOI: [10.31590/ejosat.621325](https://doi.org/10.31590/ejosat.621325)
- Sarıkaya, O., Kadioğulları, A.İ. & Açıcı, Ö. (2021).** İnegöl (Bursa) ve Domaniç (Kütahya) yöresi doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ormanları için önemli bir tehdit: Kızılkuyruklu Kayın Tırtılı - *Calliteara pudibunda* (Linnaeus, 1758). *European Journal of Science and Technology*, **21**, 131-135. DOI: [10.31590/ejosat.798622](https://doi.org/10.31590/ejosat.798622)
- Shi, S. & Zhang, J. (1981).** Purification and some properties of cholinesterase from *Nebia albiflora* muscle. *Acta Biochim Biophys Sin.*, **13**(1), 10-11.
- Singh, R., Firdous, S. & Sharma, P. (2014).** Neurotoxic effect of cypermethrin and protective role of resveratrol in Wistar rats. *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*, **4**(2), 104. DOI: [10.4103/2231-0738.129598](https://doi.org/10.4103/2231-0738.129598)
- Son, J.Y., Shin, S., Choi, K.H. & Park, I.K. (2002).** Purification of soluble acetylcholinesterase from Japanese quail brain by affinity chromatography. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, **34**(2), 204-210. DOI: [10.1016/S13572725\(01\)00082-6](https://doi.org/10.1016/S13572725(01)00082-6)
- Soto-Mancera, F., Arellano, J.M. & Albendín, M.G. (2020).** Carboxylesterase in *Sparus aurata*: Characterisation and sensitivity to organophosphorus pesticides and pharmaceutical products. *Ecological Indicators*, **109**, 105603. DOI: [10.1016/j.ecolind.2019.105603](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105603)
- Trofimova, T.A. (2012).** A review of the species of *Calliteara* Butler, 1881 (Lepidoptera: Lymantriidae) in Russia with some taxonomic remarks. *Eversmannia*, **31**(32), 49-61.
- Vinotha Alex, A. & Mukherjee, A. (2021).** Review of recent developments (2018-2020) on acetylcholinesterase inhibition based biosensors for organophosphorus pesticides detection. *Microchemical Journal*, **161**, 105779. DOI: [10.1016/j.microc.2020.105779](https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105779)
- Wang, Q., Li, J., Zhu, X., Sun, C., Teng, J., Chen, L., Shan, E. & Zhao, J. (2022).** Microplastics in fish meals: An exposure route for aquaculture animals. *Science of the Total Environment*, **807**, 151049. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.151049](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151049)
- Zari, T.A. & Al-Attar, A. M. (2011).** Therapeutic effects of olive leaves extract on rats treated with a sublethal concentration of carbendazim. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **15**(4), 413-426.
- Zhu, M., Xin, Y., Sun, M. & Fang, Y. (1993).** Purification and properties of acetylcholinesterase from human brain. *Science in China. Series B, Chemistry, Life Sciences & Earth Sciences*, **36**(10), 1207-1215.



Improving Fatty Acid Composition and Some Quality Characteristics of Low-Fat Beef Meatballs with Encapsulated Fish Oil and Black Carrot Pomace

Gülen YILDIZ TURP^{1*} Selin OZUESEN¹ Buket YILDIRIM¹ Sezen OZDEMİR¹ Meltem BOYLU¹

¹Ege University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, İzmir, Türkiye

Received: 16.01.2024

Accepted: 20.02.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Yıldız Turp, G., Ozuesen, S., Yildirim, B., Ozdemir, S., Boylu M. (2025). Improving Fatty Acid Composition and Some Quality Characteristics of Low-Fat Beef Meatballs with Encapsulated Fish Oil and Black Carrot Pomace. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(2), 159-166. <https://doi.org/10.35229/jaes.1621262>

Atf yapmak için: Yıldız Turp, G., Ozuesen, S., Yildirim, B., Ozdemir, S., Boylu M. (2025). Enkapsüle Balık Yağı ve Kara Havuç Posası İlavesi ile Az Yağlı Dana Köftelerinin Yağ Asidi Kompozisyonu ve Bazı Kalite Özelliklerinin Geliştirilmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(2), 159-166. <https://doi.org/10.35229/jaes.1621262>

*<https://orcid.org/0000-0002-9318-3349>
<https://orcid.org/0009-0000-2870-5123>
<https://orcid.org/0000-0002-3777-5120>
<https://orcid.org/0009-0007-4771-4245>
<https://orcid.org/0000-0002-3995-0447>

*Corresponding author's:

Gülen YILDIZ TURP

Ege University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, İzmir, Türkiye

✉: gulen.yildiz.turp@ege.edu.tr

Abstract: The objective of this study was to examine the effects of encapsulated fish oil and black carrot pomace on fatty acid profile as well as on some quality characteristics of low-fat beef meatballs. Four different meatball formulations were improved as; H0: 4% encapsulated fish oil+0% black carrot pomace; H3: 4% encapsulated fish oil+3% black carrot pomace; H6: 4% encapsulated fish oil+6% black carrot pomace; C: control containing no encapsulated fish oil or carrot pomace. Proximate composition (moisture, fat, protein, ash), pH value, color measurement, fatty acid composition and sensory analysis were carried out on samples. Addition of black carrot pomace significantly affected protein, ash, color (L^* , a^* , b^* values) and reduced pH values of the samples ($P<0.05$). Fatty acid profile of meatballs was significantly improved by using encapsulated fish oil in the formulations ($P<0.05$). The total amount of saturated fatty acids (SFA) in samples containing encapsulated fish oil decreased by approximately 8-10% and polyunsaturated fatty acids (PUFA) increased 36-47% compared to the controls due to the high supply of n-3 fatty acids from fish oil. Sensory evaluation scores of samples revealed all treatments were comparable to the control sample for attributes in terms of texture, juiciness, flavour and overall acceptance ($P>0.05$). Results indicate that usage of encapsulated fish oil and black carrot pomace in low fat beef meatball could give an opportunity to obtain a new healthier meat product with improved fatty acid profile and acceptable sensory properties.

Keywords: Black carrot, encapsulated fish oil, fatty acid composition, low fat, meatball.

Enkapsüle Balık Yağı ve Kara Havuç Posası İlavesi ile Az Yağlı Dana Köftelerinin Yağ Asidi Kompozisyonu ve Bazı Kalite Özelliklerinin Geliştirilmesi

Öz: Bu çalışmanın amacı, enkapsüle balık yağı ve kara havuç posasının az yağlı dana köftelerinin yağ asidi kompozisyonu ve bazı kalite özellikleri üzerine etkilerini incelemektir. Dört farklı köfte örnek grubu formülasyonu geliştirilmiştir; H0: %4 enkapsüle balık yağı + %0 kara havuç posası; H3: %4 enkapsüle balık yağı + %3 kara havuç posası; H6: %4 enkapsüle balık yağı + %6 kara havuç posası; C: enkapsüle balık yağı veya havuç posası içermeyen kontrol örnek grubu. Örneklerde kimyasal kompozisyon (nem, yağ, protein, kül), pH değeri, renk ölçümü, yağ asidi kompozisyonu ve duyu analizi gerçekleştirilmiştir. Kara havuç posası ilavesi, örneklerin protein, kül miktarını, renk (L^* , a^* , b^* değerleri) özelliklerini önemli düzeyde etkilemiştir ve pH değerlerini düşürmüştür ($P<0,05$). Köfte örneklerinin yağ asidi kompozisyonu, formülasyonlarına enkapsüle balık yağı eklenerek önemli düzeyde geliştirilmiştir ($P<0,05$). Enkapsüle balık yağı içeren örneklerdeki doymuş yağ asitlerinin (SFA) toplam miktarı, balık yağından gelen yüksek n-3 yağ asitleri sebebiyle kontrol ile karşılaştırıldığında yaklaşık %8-10 oranında azalırken, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bakımından %36-47 oranında artmıştır. Duyusal analiz puanları, tüm örnek gruplarının doku, sululuk, lezzet ve genel kabul özellikleri açısından kontrol örneğiyle karşılaştırılabilir olduğunu ortaya koymuştur ($P>0,05$). Sonuçlar, düşük yağlı dana köftede enkapsüle balık yağı ve kara havuç posası kullanımının, geliştirilmiş yağ asidi profili ve kabul edilebilir duyu özelliklere sahip yeni ve daha sağlıklı bir et ürünü elde etme fırsatı verebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Düşük yağ, enkapsüle balık yağı, kara havuç, köfte, yağ asidi kompozisyonu.

*Sorumlu yazar:

Gülen YILDIZ TURP

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir/TÜRKİYE

✉: gulen.yildiz.turp@ege.edu.tr

INTRODUCTION

Meat and meat products have constituted a fundamental element of human diets since ancient times. Meat is a rich source of vitamins and minerals, including all essential amino acids, thus making it an excellent protein source (Geiker et al., 2021). The ingestion of meat has been demonstrated to be a significant source of essential nutrients, including iron, zinc, selenium and vitamin B12 (Libera et al., 2021). Meatball is one of the favourite meat products in Türkiye. The fundamental ingredient constituting meatballs is minced beef, with additional components such as goat and sheep meat, breadcrumbs, parsley, onion, spices and garlic also being utilized (Öğütçü et al., 2018).

Meat and meat products consumption is the association between a high intake of SFA and the incidence of physiological disorders, such as obesity, type 2 diabetes, high blood lipids, high cholesterol level, and cardiovascular diseases. The prevailing perception of meat fat as being high in saturated fatty acids (SFA) has led to the belief that meat, particularly red meat, should be avoided (Badar et al., 2021). These concerns have led the WHO to make future encouragement for replacing SFA in meat products (López-Pedrouso et al., 2021). Therefore, there has been an increased interest in recent years in ways to manipulate the fatty acid composition of meat and meat products. Fat has respectable importance in meat and meat products, since it affects technological properties. Fat has a significant impact on the quality of meat, with implications for characteristics such as juiciness, tenderness, mouthfeel and flavour release of the product (Wi et al., 2020).

Fish oils are known as a rich source of the long-chain polyunsaturated omega-3 (n-3) fatty acids, containing docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA). The high content of n-3 fatty acids in fish oil, along with its beneficial effects on human health, particularly on heart, brain, and nervous system function, has led to its consideration as a functional component (Jamshidi et al., 2020). Fish oil is mainly used in industrial contexts as a raw material for the production of pharmaceuticals and food supplements, owing to its protective and healing properties. Additionally, it is employed as an additive in the animal feed industry (Bayraklı & Duyar, 2019). Fish oil, rich in fatty acids, shows potential as a therapeutic tool for various diseases, including cardiovascular diseases, cancer, obesity, type 2 diabetes, depression, non-alcoholic fatty liver disease, Alzheimer and inflammatory conditions (Ellulu et al., 2015; Jamshidi et al., 2020). Different health organizations have established dietary recommendations for EPA and DHA (Solomando et al., 2021). Meat products has a low content of ω -3 LCPUFA. Enriching meat products with fish oil could be a highly effective strategy for increasing dietary intake of these fatty acids (Raeisi et al., 2021). However, DHA and

EPA in fish oil are beneficial for health, the addition of these components to meat products can have a detrimental influence on certain sensory attributes and lipid oxidation stability. This is primarily due to the undesirable off-flavours and off-odours associated with fish oils, as well as the high susceptibility of EPA and DHA to oxidation (Solomando et al., 2020). Encapsulation is an effective method of stabilising highly unsaturated fatty acids, masking the odour of fish oil and preserving the biological activity of nutrients (Pourashouri et al., 2021; Raeisi et al., 2021; Solomando et al., 2021).

The transformation of meat products into more "healthier" forms can be achieved through the incorporation of ingredients that are considered beneficial for health, or by the elimination or reduction of components that are harmful. Fiber is one of the valuable components that can be used in meat products from a health point of view. Dietary fiber is recognized as a crucial component of a healthy human diet. Most meat-based foods are rich in protein and fat but typically deficient in dietary fiber, such as complex carbohydrates. Additionally, fiber is utilized not only as a beneficial additive but also as an extender, binder, and fat replacer in the manufacturing of various meat products (Mehta et al., 2015). The incorporation of different types of dietary fibers in meat products has been researched (Santhi et al., 2020; Younis et al., 2021; Younis & Ahmad, 2017; Bouaziz et al., 2020; Illippangama et al., 2022).

Black carrots (*Daucus carota* L.) are a good source of fibres, sugars, vitamins and minerals, and they have a characteristic bluish-purple colour due to anthocyanins (water soluble). They are an excellent source of phytochemicals, including ascorbic acid, carotenoids, polyacetylenes and phenolic compounds. Black carrots are grown and drained in Türkiye, Afghanistan, Egypt and the Far East conventionally. Türkiye is one of the few countries with extremely favourable conditions for growing carrots (Chhetri et al., 2022; Thakur et al., 2024). Black carrot is a natural food colouring, a natural antioxidant, and a vegetable with a high mineral content. Peel and pomace of black carrot are rich in polyphenols, which possess anti-inflammatory properties (Stoica et al., 2024; Thakur et al., 2024). Carrot pomace is the residual material that is left over after the processing of carrots, typically following the extraction of carrot juice or other processing methodologies. It is constituted of diverse elements, including carrot pulp, skins, seeds, and other remnants (Ikram et al., 2024; Liu et al., 2023). Carrot pomace is a nutritionally rich by-product. Its insoluble fraction is rich in fiber, consisting mainly of pectic polysaccharides, hemicellulose, and cellulose (Granucci et al., 2023).

The objective of this study was to assess the potential of encapsulated fish oil and black carrot pomace in the production of low-fat meatballs, with a focus on their

impact on fatty acid composition and selected quality parameters. This research will propose a method for producing low-fat meatballs and investigate the potential for enriching low-fat meatballs with n-3 polyunsaturated fatty acids through encapsulated fish oil and black carrot pomace.

MATERIAL AND METHOD

Lean beef as boneless rounds and fat were obtained from a local processor (Burdur Gucbirligi Meat Facility A.S). Carrot pomace was a by-product from black carrot juice processing and supplied from Erkon Konsantre A.Ş., Konya, Turkey and stored at -18°C until used. Commercial encapsulated fish oil -Pure Arctic Premium Powder (43% fat; 1.5% moisture) supplied by Orkla Health AS, Division Denomega, Norway. Rusk, onion powder, salt and black pepper were purchased from a local market in Izmir, Turkiye.

Formulation of Meatballs: Lean and fat were ground through a 3 mm plate grinder. Four different low-fat beef meatballs were formulated as: 0% black carrot pomace and 4% encapsulated fish oil (H0); 3% black carrot pomace and 4% encapsulated fish oil (H3) and 6% black carrot pomace and 4% encapsulated fish oil (H6) and 0% black carrot pomace and 0% encapsulated fish oil (C) (Table 1). All meatball mixtures were prepared with equal amounts of fat (8%) and additives (bread crumbs, onion powder, salt, black pepper, cumin). Black carrot pomace (BCP) and encapsulated fish oil (EFO) ratios were replaced by meat ratio in the formulation of the meatballs. All of the additives were added to meatball mixture and kneaded until a homogeneous distribution was obtained. Then each meatball was formed using a metal shaper (1 cm thick and 80 mm diameter). The entire trial was replicated twice at separate times. Proximate composition analysis, pH determination, color measurement, fatty acid composition analysis and sensory evaluation were carried out on samples for each replicate.

Proximate Analysis: Moisture and ash content of the uncooked samples were measured based on AOAC (2000) procedures. Protein content was determined according to Anonymous (1979). The conversion factor was 6.25 for protein analysis. Lipid content was determined using the Soxhlet extraction method according to AOAC (2006).

pH Determination: pH analysis was conducted by directly inserting the pH electrode (Thermo Scientific Orion 3-Star, Singapore) into the uncooked samples for each treatment.

Color Measurements: Color measurements of the uncooked meatballs were carried out using a Color Flex A60-1010-615 Manual Version 23 Hunter Lab spectrophotometer. The device was standardized with white tile after black glass before each analysis. Eight

measurements were taken for each sample. Color coordinates L^* (lightness), a^* (redness), b^* (yellowness) were recorded for the outside surfaces of the samples.

Table 1. Formulation of Meatballs.

Ingredients (%)	Samples			
	C	H0	H3	H6
Meat	79.9	75.9	72.9	69.9
Encapsulated Fish Oil	0	4	4	4
Black Carrot Pomace	0	0	3	6
Fat	8	8	8	8
Bread crumbs	7	7	7	7
Onion Powder	3	3	3	3
Salt	1.5	1.5	1.5	1.5
Black Pepper	0.3	0.3	0.3	0.3
Cumin	0.3	0.3	0.3	0.3

Fatty Acid Composition Analysis: The extraction of lipids from 10 g samples was performed by using chloroform: methanol (2:1 v/v) (Flynn & Bramblett, 1975) and then methylated (Anon, 1987). A gas chromatograph (HP 5890) fitted with a fused silica capillary column (CP-Sil-88; 50m× 0.25mm.i.d., 0.20 µm film thickness of polyethylene glycol) (Chrompack Ltd., London UK) was used for the analyzing of fatty acid methyl esters (FAME). The column temperature was programmed as 100°C to 220°C at 4°C/min and 15 min at 220°C. The injector and the detector (FID) temperatures were 220°C. The carrier gas was hydrogen at a flow rate of 1ml/min. The fatty acids were identified by comparing retention times of the samples with those of the standards and expressed as g/100 g fatty acids.

Sensory Evaluation: Sensory evaluations of the meatball samples were performed at the sensory evaluation laboratory in individualized booths by 10 panelists consisting of graduate students from the Ege University Food Engineering Department. Meatball samples were served to panelists with water and bread after being cooked in the oven for 16 minutes (8 minutes for each surface) until the internal temperature reached at least 75°C. The samples were coded with 3 digit randomized numbers and placed in a random order. Samples were presented right after the cooking process and evaluated in terms of appearance, color, texture, juiciness, flavor, oxidized flavor and overall acceptability using a 9-point hedonic scala (9=like extremely 1=dislike extremely) (Altug & Elmaci, 2005).

Statistical Analysis: The effects of different ratios of black carrot pomace and encapsulated fish oil on proximate composition, pH, color, fatty acid composition and sensory analyses were examined using a one-way ANOVA. Differences among the means were compared by using Duncan's Multiple Range test. A significance level of $P \leq 0.05$ was used for all evaluations. The data was analyzed using SPSS software version 20 (SPSS, 2011).

RESULTS AND DISCUSSION

pH and Proximate Composition of Meatballs: Moisture, fat, protein, ash and pH values of uncooked meatballs can be seen in Table 2. Moisture content of the

control sample was detected to be significantly higher ($P < 0.05$) than those of the H0 sample containing encapsulated fish oil due to the increase in dry matter. There was no significant difference between sample groups containing black carrot pomace in terms of moisture content. Fat content of the samples were not significantly affected ($P > 0.05$) by the addition of encapsulated fish oil and black carrot pomace. Protein content of control sample was significantly higher ($P < 0.05$) than those of the other samples. No significant differences were found between the sample groups containing carrot pomace ($P > 0.05$) in terms

of protein content. The ash content of H6 sample including highest amount of black carrot pomace was detected as significantly higher than those of the C sample. Similar findings were reported by Mendiratta et al. (2013) regarding mutton nuggets with carrot paste group showed no significant difference in the moisture. Another study revealed that moisture content in beef patties decreased as the percentage of pomace increased. This decrease was attributed to the replacement of meat with dried carrot pomace, which possesses a considerably lower moisture content than meat.

Table 2. Proximate composition and pH of meatballs (mean $\pm$ standard error)

Sample	Moisture (%)	Fat (%)	Protein (%)	Ash (%)	pH
C	66.29 ^a $\pm$ 1.01	8.68 ^a $\pm$ 2.38	20.34 ^b $\pm$ 0.25	2.56 ^a $\pm$ 0.04	5.68 ^c $\pm$ 0.02
H0	62.92 ^a $\pm$ 2.98	9.27 ^a $\pm$ 0.65	18.59 ^a $\pm$ 1.10	2.61 ^{ab} $\pm$ 0.09	5.62 ^b $\pm$ 0.02
H3	63.93 ^{ab} $\pm$ 1.47	9.53 ^a $\pm$ 1.07	18.48 ^a $\pm$ 0.42	2.60 ^{ab} $\pm$ 0.08	5.48 ^a $\pm$ 0.02
H6	63.53 ^{ab} $\pm$ 1.39	9.87 $\pm$ 1.14	18.37 ^a $\pm$ 0.80	2.72 ^b $\pm$ 0.11	5.53 ^a $\pm$ 0.03

C: Control; H0: 4% EFO; H3: 4%EFO + 3% BCP; H6: 4%EFO + 6% BCP

^{a-b}: Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

The use of different amounts of black carrot pomace and encapsulated fish oil in the formulations of the samples caused significant differences in the pH values of the samples ($P < 0.05$). It was determined that the pH values of the H3 and H6 samples with added black carrot pomace were significantly lower than those of the other samples without black carrot pomace ($P < 0.05$). The use of fish oil in the sample formulation also caused a decrease in pH value. The pH value of sample H0 was found to be significantly lower than sample C ($P < 0.05$). However, in a study it was determined that adding carrot pomace into beef patties showed no significant differences in terms of pH values (Richards, 2023). Similarly, in another study the addition of carrot pomace powder at levels of 1%, 2%, and 3%, to chicken meatballs did not affect the pH of product (Santhi et al., 2022a). But nevertheless Santhi et al. (2022b) reported that pH of chicken meatballs significantly ($P \leq 0.01$) decreased with the increase in the level of grape pomace powder. They mentioned that the drop in pH by the addition of grape pomace powder was due to the fact that it is rich in phenolic acids and tartaric acid. When the results of the studies were evaluated, it was observed that the addition of microencapsulated fish oil to meat products caused different effects on the pH values of the samples. Domínguez et al. (2017) showed the frankfurter sausages manufactured with microencapsulated fish oil presented the lowest pH values. This fact could be related with the low pH value (4.98) that presented the microencapsulated.

Color of Meatballs: Color is an important quality parameter that is effective in consumer acceptance in meat and meat products. The addition of black carrot pomace and encapsulated fish oil into meatballs significantly affected the color of meatball samples ($p < 0.05$). The highest L^* and b^* values determined in the H0 (%4 EFO) sample group. It can be explained as the lighter color of the

encapsulated fish oil according to the color of the beef meat resulted that higher L^* and b^* values in samples.

The lowest L^* , a^* and b^* values were determined in the H6 (6% BCF) sample group. The higher a^* values were observed in C and H0 samples than H3 and H6 samples. Similarly, Ekici et al. (2015) reported that a^* values decreased due to the increase in black carrot concentration in sucuk formulations containing nitrite ($p < 0.05$). Also Richards (2023) was reported that the addition of carrot pomace significantly reduced the redness (a^*) of beef patties, with a 40% decrease observed in patties containing 4.2% carrot pomace compared to the control patties. Younis & Ahmad (2017) obtained similar results showing that the addition pineapple pomace powder in sausages and patties decreased significantly L^* values. The L^* results between C and H0 agreed with those observed by Domínguez et al. (2017) who found that L^* values significantly increased by the replacement of pork fat with microencapsulated fish oil.

Table 3. L^* , a^* and b^* values of meatballs (mean $\pm$ standard error)

Sample groups	L^*	a^*	b^*
C	39.44 ^c $\pm$ 0.46	15.95 ^c $\pm$ 0.44	20.71 ^c $\pm$ 0.40
H0	42.95 ^d $\pm$ 0.40	15.36 ^c $\pm$ 0.55	21.64 ^d $\pm$ 0.350
H3	34.60 ^b $\pm$ 1.13	9.75 ^b $\pm$ 0.59	12.73 ^b $\pm$ 0.66
H6	32.49 ^a $\pm$ 0.53	8.59 ^a $\pm$ 0.74	9.91 ^c $\pm$ 0.46

C: Control sample; H0: 4% EFO; H3: 4%EFO + 3% BCP; H6: 4%EFO + 6% BCP

^{a-d}: Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Fatty Acid Composition of Meatballs: The influence of using encapsulated fish oil on fatty acid profile of samples can be seen in Table 4. As expected, fatty acid profile of meatballs elaborated with encapsulated fish oil were significantly affected ($P < 0.05$). The C12:0; C14:0, C16:1, C18:3n-3, C20:1n-9, C20:2, C20:4, C20:3n-3, C22:0, C20:5, C22:1, C22:2, C23:0, C24:0, C22:6, Σ MUFA and Σ PUFA contents of control samples were found to be significantly lower than those of samples containing encapsulated fish oil ($P < 0.05$). While the SFA

content of the control samples was the highest compared to the other samples, the MUFA and PUFA contents were determined to be the lowest ($P<0.05$). The total amount of saturated fatty acids (SFA) in the meatballs containing encapsulated fish oil decreased by approximately 8-10% compared to the controls. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) increased in samples with encapsulated fish oil 36-47% due to the higher long chain n-3 fatty acids from fish oil. Similarly, monounsaturated fatty acids (MUFA) increased % 6-8 in these samples compared to those of the control samples. These effects are caused by fish oil containing a low amount of SFA (22.5%) and a high amount of PUFA (35.7%) (Ospina-E et al., 2010).

Domínguez et al. (2017) found that the substitution of pork backfat with microencapsulated fish oil in modified sausages reduced the SFA content from 33.14 g/100 g to 31.65 g/100g, the total amount of SFA in the samples decreased by 4.5- 11.8% compared to the control sample. Another study by Keenan et al. (2015), the fatty acid profile of the beef burger was dominated by saturated fatty acids (SFAs) and monounsaturated fatty acids (MUFAs). Similar to our study, palmitic (hexadecanoic, C16:0), stearic (octadecanoic, C18:0) and myristic (tetradecanoic, C14:0) acids were the most abundant SFA respectively. Similar trends were observed in other studies when pork backfat were substituted by fish oil in sausages formulation (Josquin et al., 2012; Berasategi et al., 2014).

The n-6/n-3 fatty acid ratio is widely regarded as a significant health parameter. The lower this ratio, the better the product is in terms of health. The ratio of n-6 to n-3 acids in tissues has been related to chronic diseases, including cancer, cardiovascular diseases and inflammatory diseases, as well as to the microbiome. The optimal n-6/n-3 fatty acid ratio to achieve beneficial health effects is a matter of variation among institutions and countries. The values proposed by Canada, the Food and Agriculture Organization of the United Nations, and the Chinese Nutrition Society (2000) were 4–10, 5–10, and 4–6, respectively. In general, the n-6/n-3 ratio should not exceed 5 (Cao et al., 2024). On the other side, increased consumption of products with n-3 PUFA and reduced n-6/n-3 PUFA ratio are associated with health benefits (Liput et al. 2021; Mariamenatu & Abdu, 2021). In the current study, the n-6/n-3 ratio in samples using fish oil decreased significantly compared to the control sample. The decrease in n-6/n-3 ratio was determined as 74.45%, 75.05% and 77.66% in H0, H3 and H6 samples, respectively, compared to the control sample. Similar results were reported by Domínguez et al. (2017) who studied Frankfurter sausages reformulated by replacing 50% of the pork backfat with microencapsulated fish oil. The n-6/n-3 ratios of the reformulated Frankfurter sausages

decreased from 14.52 for the control batch to 5.70 with the addition of microencapsulated fish oil. In a study by Domínguez et al. (2017) two sausages samples were manufactured: control (CO) with 100% of pork backfat, and modified sausages where the pork backfat was replaced with 50% by microencapsulated fish oil (ME). DHA increased 1.17 g/100g from 0.05 g/100g and EPA increased 0.35 g/100g from 0.02 g/100g. They mentioned that the higher PUFA content in modified frankfurter sausages than in the CO batches were caused by the high long-chain n-3 PUFA content in fish oil (4.78% of EPA and 20.55% of DHA). In agreement investigation by Aquilani et al. (2018) was conducted into the presence of EPA and DHA in fresh and cooked Cinta Senese burgers. The investigation revealed the absence of EPA and DHA in burgers that had not undergone enrichment. In contrast, burgers that had been enriched with microencapsulated fish oil (M) exhibited concentrations of 0.07% EPA and 0.09% DHA in raw samples and 0.07% EPA and 0.10% DHA in cooked samples. Also, in M samples, cooking did not significantly influence EPA and DHA percentages. However, in other samples where fish oil was added directly to meat, there was a decreasing in the EPA and DHA percentages from fresh to cooked samples, which was not observed in M burgers. This finding indicate that microcapsules offer a protective effect on these omega-3 fatty acids during heating or cooking. In agreement with these results, in our study four n-3 fatty acids were identified, amongst which DHA and EPA are important. The addition of encapsulated fish oil to meatballs increased the long chain n-3 PUFA's EPA and DHA, characteristic of this oil type. Levels of EPA significantly increased ($P<0.05$) from 0.03% in control meatballs to 0.05%, 0.05% and 0.06% in H0, H3 and H6 samples respectively. Also, DHA levels increased from 0.04% to 0.1%, 0.11% and 0.1% in H0, H3 and H6 samples respectively.

It was determined that as the ratio of black carrot pomace used in the sample formulations increased, the amounts of C14:1, C16:0, C20:4 and C24:1 fatty acids decreased, while the amounts of C18:3n-3, C20:1n-9, C20:3n-3, C22:0, C22:1, C23:0, C24:0 increased ($P<0.05$). The use of black carrot pomace in higher amounts in sample formulations, such as encapsulated fish oil, by replacing the amount of meat and adding it to the samples, resulted in the use of less meat, which in turn caused changes in the fatty acid composition of the samples depending on the ratio.

Sensory Evaluation of Meatballs: Sensory evaluation is an important test technique for the acceptance of the product. Sensory analysis scores for meatballs were given in Table 5. Sensory evaluation scores of all samples except H6, which were evaluated with a scale where the highest score was 9, were determined to be above 6.85.

There were no significant differences between C and H0 samples containing encapsulated fish oil in terms of appearance, color, texture, juiciness, flavor, oxidized flavor and overall acceptance ($P < 0.05$). The use of fish oil in encapsulated form instead of direct use prevented negative changes in the sensory properties of the samples. Similarly, Keenan et al. (2015) reported that there was no significant difference in the appearance, chewiness, tenderness, juiciness and overall acceptability scores between burger meatballs containing 3% encapsulated fish oil and burger meatballs not containing fish oil ($P < 0.05$). In current study the use of high amounts of carrot pulp in

the samples caused a significant decrease in the appearance and color scores of the samples. The appearance and color scores of sample H6 were found to be significantly lower compared to samples C and H0. Besides this H3 and H6 samples showed no significant difference in terms of appearance, color, texture, juiciness, flavor, oxidized flavor and overall acceptance ($P > 0.05$). Richards (2023) revealed that no significant differences were observed between patties made with 1% or 3% carrot pomace in terms of appearance, aroma, taste, chewiness, beef flavor, sweetness, texture, and overall acceptance.

Table 4. Fatty acid profiles of meatballs (g/100 g fatty acids) (mean $\pm$ standard error)

Fatty acids (g/100g)	C	H0	H3	H6
C8:0	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00
C10:0	0.04 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.00
C12:0	0.31 $\pm$ 0.03 ^a	0.35 $\pm$ 0.01 ^b	0.36 $\pm$ 0.03 ^b	0.38 $\pm$ 0.01 ^b
C13:0	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00
C14:0	2.96 $\pm$ 0.16 ^a	3.29 $\pm$ 0.13 ^b	3.18 $\pm$ 0.07 ^b	3.14 $\pm$ 0.02 ^b
C14:1	0.31 $\pm$ 0.04 ^b	0.26 $\pm$ 0.01 ^b	0.27 $\pm$ 0.03 ^b	0.23 $\pm$ 0.02 ^a
C15:0	0.63 $\pm$ 0.02 ^c	0.58 $\pm$ 0.02 ^b	0.55 $\pm$ 0.01 ^a	0.55 $\pm$ 0.02 ^{ab}
C15:1	0.43 $\pm$ 0.02 ^b	0.37 $\pm$ 0.04 ^a	0.35 $\pm$ 0.01 ^a	0.35 $\pm$ 0.01 ^a
C16:0	27.91 $\pm$ 0.27 ^c	24.89 $\pm$ 0.42 ^b	24.83 $\pm$ 0.12 ^b	23.93 $\pm$ 0.19 ^a
C16:1	2.09 $\pm$ 0.02 ^a	3.33 $\pm$ 0.07 ^b	3.52 $\pm$ 0.07 ^c	3.49 $\pm$ 0.13 ^c
C17:0	1.07 $\pm$ 0.02 ^c	0.88 $\pm$ 0.05 ^b	0.84 $\pm$ 0.02 ^{ab}	0.82 $\pm$ 0.04 ^a
C17:1	0.39 $\pm$ 0.01 ^b	0.34 $\pm$ 0.01 ^a	0.32 $\pm$ 0.02 ^a	0.32 $\pm$ 0.02 ^a
C18:0	23.69 $\pm$ 0.36 ^b	19.60 $\pm$ 0.54 ^a	19.30 $\pm$ 0.28 ^a	19.22 $\pm$ 0.40 ^a
C18:1n-9c	33.20 $\pm$ 0.29 ^b	31.89 $\pm$ 0.18 ^a	31.64 $\pm$ 0.17 ^a	31.62 $\pm$ 0.32 ^a
C18:2n-6t	0.49 $\pm$ 0.08 ^b	0.15 $\pm$ 0.01 ^a	0.16 $\pm$ 0.02 ^a	0.16 $\pm$ 0.02 ^a
C18:2n-6c	4.11 $\pm$ 0.13 ^a	4.31 $\pm$ 0.21 ^{ab}	4.53 $\pm$ 0.08 ^{bc}	4.65 $\pm$ 0.15 ^c
C18:3n-6	0.16 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.01	0.15 $\pm$ 0.01
C18:3n-3	0.29 $\pm$ 0.01 ^a	0.46 $\pm$ 0.03 ^b	0.48 $\pm$ 0.02 ^b	0.53 $\pm$ 0.03 ^c
C20:0	0.24 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.02	0.20 $\pm$ 0.01
C20:1n-9	0.20 $\pm$ 0.01 ^a	2.90 $\pm$ 0.15 ^b	3.08 $\pm$ 0.07 ^c	3.55 $\pm$ 0.10 ^d
C20:2	0.08 $\pm$ 0.01 ^a	0.13 $\pm$ 0.01 ^b	0.14 $\pm$ 0.01 ^b	0.14 $\pm$ 0.01 ^b
C20:3n-6	0.15 $\pm$ 0.01 ^a	0.22 $\pm$ 0.04 ^c	0.21 $\pm$ 0.02 ^{bc}	0.17 $\pm$ 0.02 ^{ab}
C20:4	0.42 $\pm$ 0.02 ^a	0.60 $\pm$ 0.07 ^c	0.60 $\pm$ 0.03 ^c	0.50 $\pm$ 0.02 ^b
C20:3n-3	0.14 $\pm$ 0.18 ^a	1.65 $\pm$ 0.10 ^b	1.77 $\pm$ 0.05 ^b	2.00 $\pm$ 0.03 ^c
C21:0	0.03 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.01
C22:0	0.02 $\pm$ 0.00 ^a	0.14 $\pm$ 0.01 ^b	0.16 $\pm$ 0.01 ^b	0.22 $\pm$ 0.02 ^c
C20:5	0.03 $\pm$ 0.00 ^a	0.05 $\pm$ 0.01 ^b	0.05 $\pm$ 0.01 ^b	0.06 $\pm$ 0.00 ^b
C22:1	0.01 $\pm$ 0.00 ^a	0.09 $\pm$ 0.00 ^b	0.09 $\pm$ 0.01 ^b	0.10 $\pm$ 0.01 ^c
C22:2	0.07 $\pm$ 0.01 ^a	0.34 $\pm$ 0.02 ^b	0.35 $\pm$ 0.00 ^{bc}	0.38 $\pm$ 0.02 ^c
C23:0	0.13 $\pm$ 0.18 ^a	2.29 $\pm$ 0.14 ^b	2.38 $\pm$ 0.18 ^b	2.67 $\pm$ 0.14 ^c
C24:0	0.01 $\pm$ 0.00 ^a	0.08 $\pm$ 0.00 ^b	0.08 $\pm$ 0.01 ^b	0.10 $\pm$ 0.01 ^c
C22:6	0.04 $\pm$ 0.01 ^a	0.10 $\pm$ 0.01 ^b	0.11 $\pm$ 0.01 ^b	0.10 $\pm$ 0.00 ^b
C24:1	0.17 $\pm$ 0.01 ^c	0.05 $\pm$ 0.01 ^b	0.04 $\pm$ 0.01 ^b	0.02 $\pm$ 0.02 ^a
ΣSFA	57.06 $\pm$ 0.30 ^b	52.41 $\pm$ 0.42 ^a	51.99 $\pm$ 0.24 ^a	51.34 $\pm$ 0.37 ^a
ΣMUFA	36.80 $\pm$ 0.25 ^a	39.23 $\pm$ 0.12 ^b	39.31 $\pm$ 0.25 ^b	39.68 $\pm$ 0.55 ^b
ΣPUFA	5.98 $\pm$ 0.53 ^a	8.17 $\pm$ 0.36 ^b	8.56 $\pm$ 0.13 ^b	8.84 $\pm$ 0.22 ^b
ΣMUFA+ ΣPUFA/ SFA	0.75	0.9	0.92	0.95
PUFA/SFA	0.10	0.16	0.16	0.17
n3	0.50	2.26	2.41	2.69
n6	4.99	5.76	5.99	5.99
n6/n3	9.98	2.55	2.49	2.23

^{a-d} Means in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

C: Control sample; H0: 4% EFO; H3: 4%EFO + 3% BCP; H6: 4%EFO + 6% BCP

Table 5. Appearance, color, texture, juiciness, flavor, oxidized flavor and overall acceptance of meatballs (mean $\pm$ standard error)

Samples	Appearance	Color	Texture	Juiciness	Flavor	Oxidized Flavor	Overall Acceptance
C	7.45 $\pm$ 0.66 ^b	7.35 $\pm$ 0.66 ^b	7.55 $\pm$ 0.47	7.50 $\pm$ 0.26	7.35 $\pm$ 0.55	7.50 $\pm$ 0.62	7.60 $\pm$ 0.49
H0	7.20 $\pm$ 0.33 ^b	7.20 $\pm$ 0.49 ^b	7.25 $\pm$ 0.19	7.10 $\pm$ 0.26	7.00 $\pm$ 0.43	7.50 $\pm$ 0.26	7.35 $\pm$ 0.53
H3	6.85 $\pm$ 0.44 ^{ab}	6.75 $\pm$ 0.70 ^{ab}	7.40 $\pm$ 0.28	7.70 $\pm$ 0.20	7.75 $\pm$ 0.30	7.90 $\pm$ 0.26	7.55 $\pm$ 0.50
H6	6.20$\pm$0.37^a	5.90$\pm$0.26^a	7.40$\pm$0.23	7.50$\pm$0.60	7.20$\pm$0.71	7.45$\pm$0.93	7.05$\pm$0.62

^{a-b} Means in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

C: Control sample; H0: 4% EFO; H3: 4%EFO + 3% BCP; H6: 4%EFO + 6% BCP

CONCLUSION

In this study the potential use of encapsulated fish oil and black carrot as fat substitute and enrichment material to create an alternative product that addresses

global health problems attributed to increased SFA consumption. Results showed that encapsulated fish oil and black carrot pomace addition had a significant effect on the color properties and the sensory scores. Addition of black carrot pomace caused darker color so appearance and

color scores of H6 samples were determined lower than C, H0 and H3 samples. Consequently, it can be recommended that addition of 3% black carrot pomace with 4% encapsulated fish oil to the low-fat meatball for acceptable sensory properties.

PUFA/SFA ratio increased due to usage of encapsulated fish oil and n-6/n-3 ratio decreased. Long chain n-3 PUFA's EPA and DHA were observed higher in the sample groups containing encapsulated fish oil than those of the control sample. The findings of the study suggest that the incorporation of encapsulated fish oil and black carrot pomace in low-fat meatballs has the potential to obtain a novel meat product that is both healthier and more nutritious.

REFERENCES

- Aquilani, C., Pérez-Palacios, T., Sirtori, F., Jiménez-Martín, E., Antequera, T., Franci, O., Acciaioli, A., Bozzi, R. & Pugliese, C. (2018). Enrichment of Cinta Senese burgers with omega-3 fatty acids. Effect of type of addition and storage conditions on quality characteristics. *Grasas y Aceites*, 69(1). DOI: 10.3989/gya.0671171
- Badar, I.H., Liu, H., Chen, Q., Xia, X. & Kong, B. (2021). Future trends of processed meat products concerning perceived healthiness: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(5), 4739-4778. DOI: 10.1111/1541-4337.12813
- Bayraklı, B. & Duyar, H.A. (2019). The Effect of Raw Material Freshness on Fish Oil Quality Produced in Fish Meal & Oil Plant. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 473-479. DOI: 10.35229/jaes.636002
- Berasategi, I., Navarro-Blasco, Í., Calvo, M.I., Cavero, R.Y., Astiasarán, I. & Ansorena, D. (2014). Healthy reduced-fat Bologna sausages enriched in ALA and DHA and stabilized with Melissa officinalis extract. *Meat Science*, 96(3), 1185-1190. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.10.023
- Cao, M., Yang, F., McClements, D.J., Guo, Y., Liu, R., Chang, M., Wei, W., Jin, J. & Wang, X. (2024). Impact of dietary n-6/n-3 fatty acid ratio of atherosclerosis risk: A review. *Progress in Lipid Research*, 95, 101289. DOI: 10.1016/j.plipres.2024.101289
- Chhetri, L., Rizwan, M.D., Munkombwe, S., Dorji, N. & Mutum, E. (2022). Utilization and characteristics of black carrot (*Daucus carrot* L.): Potential health benefits and effect of processing. *The Pharma Innovation Journal*, 11(6), 30-41.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Agregán, R., & Lorenzo, J. M. (2017). Effect of the partial replacement of pork backfat by microencapsulated fish oil or mixed fish and olive oil on the quality of frankfurter type sausage. *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 26-37. DOI: 10.1007/s13197-016-2405-7
- Ekici, L., Ozturk, I., Karaman, S., Caliskan, O., Tornuk, F., Sagdic, O. & Yetim, H. (2015). Effects of black carrot concentrate on some physicochemical, textural, bioactive, aroma and sensory properties of sucuk, a traditional Turkish dry-fermented sausage. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 718-726
- Ellulu, M.S., Khaza'ai, H., Abed, Y., Rahmat, A., Ismail, P. & Ranneh, Y. (2015). Role of fish oil in human health and possible mechanism to reduce the inflammation. *Inflammopharmacology*, 23(2-3), 79-89. DOI: 10.1007/s10787-015-0228-1
- Geiker, N.R.W., Bertram, H.C., Mejborn, H., Dragsted, L., Kristensen, L., Carrascal, J.R., Bügel, S. & Astrup, A. (2021). Meat and human health-current knowledge and research gaps. *Foods* 10(7). DOI: 10.3390/foods10071556
- Granucci, N., Harris, P.J. & Villas-Boas, S.G. (2023). Chemical compositions of fruit and vegetable pomaces from the beverage industries. *Waste and Biomass Valorization*, 14(11), 3841-3856. DOI: 10.1007/s12649-023-02095-7
- Ikram, A., Rasheed, A., Ahmad Khan, A., Khan, R., Ahmad, M., Bashir, R. & Hassan Mohamed, M. (2024). Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *International Journal of Food Properties* 27(1), 180-193. DOI: 10.1080/10942912.2023.2301569
- Jamshidi, A., Cao, H., Xiao, J. & Simal-Gandara, J. (2020). Advantages of techniques to fortify food products with the benefits of fish oil. *Food Research International*, 137, 109353. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109353
- Josquin, N.M., Linssen, J.P.H. & Houben, J.H. (2012). Quality characteristics of Dutch-style fermented sausages manufactured with partial replacement of pork back-fat with pure, pre-emulsified or encapsulated fish oil. *Meat Science*, 90(1), 81-86. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.06.001
- Keenan, D.F., Resconi, V.C., Smyth, T.J., Botinestean, C., Lefranc, C., Kerry, J.P. & Hamill, R.M. (2015). The effect of partial-fat substitutions with encapsulated and unencapsulated fish oils on the technological and eating quality of beef burgers over storage. *Meat Science*, 107, 75-85. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.04.013
- Libera, J., Ilowiecka, K. & Stasiak, D. (2021). Consumption of processed red meat and its impact on human health: A review. *International Journal of Food Science and Technology* 56(12), 6115-6123. DOI: 10.1111/ijfs.15270
- Liput, K.P., Lepczyński, A., Ogluszka, M., Nawrocka, A., Polawska, E., Grzesiak, A., Ślaska, B., Pareek, C.S., Czarnik, U. & Pierzchała, M. (2021). Effects of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in inflammation and carcinogenesis. In *International Journal of Molecular Sciences* 22(13). DOI: 10.3390/ijms22136965

- Liu, Z., de Souza, T.S.P., Holland, B., Dunshea, F., Barrow, C. & Suleria, H.A.R. (2023). Valorization of food waste to produce value-added products based on its bioactive compounds. *Processes*, **11**(3), 840. DOI: [10.3390/pr11030840](https://doi.org/10.3390/pr11030840)
- López-Pedrouso, M., Lorenzo, J.M., Gullón, B., Campagnol, P.C.B., & Franco, D. (2021). Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels. *Current Opinion in Food Science*, **40**(40-45). DOI: [10.1016/j.cofs.2020.06.003](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.06.003)
- Mariamenatu, A.H. & Abdu, E.M. (2021). Overconsumption of omega-6 polyunsaturated fatty acids (pufas) versus deficiency of Omega-3 PUFAs in modern-day diets: the disturbing factor for their “Balanced antagonistic metabolic functions” in the human body. *Journal of Lipids*, **2021**, 1-15. DOI: [10.1155/2021/8848161](https://doi.org/10.1155/2021/8848161)
- Mehta, N., Ahlawat, S.S., Sharma, D.P. & Dabur, R.S. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products-a critical review. *Journal of Food Science and Technology*, **52**(2), 633-647. DOI: [10.1007/s13197-013-1010-2](https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2)
- Mendiratta, S.K., Shinde, A.T. & Mane, B.G. (2013). Effect of added vegetable (carrot, radish and capsicum) as functional ingredients in mutton nuggets. *Journal of Meat Science and Technology*, **1**(2), 71-76.
- Öğütücü, M., Gevrek, S. & Arifoğlu, N. (2018). Physico-chemical, textural, microbial and sensory properties of Turkish Tire meatball. *Journal of Food Processing and Preservation*, **42**(10). DOI: [10.1111/jfpp.13768](https://doi.org/10.1111/jfpp.13768)
- Ospina-E, J.C., Cruz-S, A., Pérez-Álvarez, J.A. & Fernández-López, J. (2010). Development of combinations of chemically modified vegetable oils as pork backfat substitutes in sausages formulation. *Meat Science*, **84**(3), 491-497. DOI: [10.1016/j.meatsci.2009.10.003](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.003)
- Pourashouri, P., Shabanpour, B., Heydari, S. & Raeisi, S. (2021). Encapsulation of fish oil by carrageenan and gum tragacanth as wall materials and its application to the enrichment of chicken nuggets. *LWT*, **137**. DOI: [10.1016/j.lwt.2020.110334](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110334)
- Raeisi, S., Ojagh, S.M., Pourashouri, P., Salaün, F. & Quek, S.Y. (2021). Shelf-life and quality of chicken nuggets fortified with encapsulated fish oil and garlic essential oil during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*, **58**(1), 121128. DOI: [10.1007/s13197-020-04521-3](https://doi.org/10.1007/s13197-020-04521-3)
- Richards, J.O.A. (2023). Physical treatments to modify the functionality of carrot pomace and the development of an enhanced beef patty. *ProQuest Dissertations & Theses Global*.
- Santhi, D., Kalaikannan, A. & Elango, A. (2022). Functional Low-Fat Chicken Meatballs Enriched with Grape (*Vitis Vinifera*) Pomace Powder. *Journal of Meat Science*, **17**(2), 42-50. DOI: [10.48165/jms.2022.170207](https://doi.org/10.48165/jms.2022.170207)
- Santhi, D., Kalaikannan, A., Elango, A. & Natarajan, A. (2022). Functional Chicken Meatballs with Carrot Pomace Powder. *Journal of Meat Science*, **17**(1), 31-36. DOI: [10.48165/jms.2022.1705](https://doi.org/10.48165/jms.2022.1705)
- Santhi, D., Kalaikannan, A. & Natarajan, A. (2020). Characteristics and composition of emulsion-based functional low-fat chicken meat balls fortified with dietary fiber sources. *Journal of Food Process Engineering*, **43**(3). DOI: [10.1111/jfpe.13333](https://doi.org/10.1111/jfpe.13333)
- Solomando, J. C., Antequera, T., & Perez-Palacios, T. (2020). Lipid digestion products in meat derivatives enriched with fish oil microcapsules. *Journal of Functional Foods*, **68**, 1-12. DOI: [10.1016/j.jff.2020.103916](https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103916)
- Solomando, J.C., Antequera, T., Ventanas, S. & Perez-Palacios, T. (2021). Sensory profile and consumer perception of meat products enriched with EPA and DHA using fish oil microcapsules. *International Journal of Food Science and Technology*, **56**(6), 2926-2937. DOI: [10.1111/ijfs.14932](https://doi.org/10.1111/ijfs.14932)
- Stoica, F., Rațu, R.N., Motrescu, I., Cara, I.G., Filip, M., Țopa, D. & Jităreanu, G. (2024). Application of Pomace Powder of Black Carrot as a Natural Food Ingredient in Yoghurt. *Foods*, **13**(7), 1-19. DOI: [10.3390/foods13071130](https://doi.org/10.3390/foods13071130)
- Thakur, P., Anika, Suhag, R., Dhiman, A. & Kumar, S. (2024). Insights into the current status of bioactive value, postharvest processing opportunities and value addition of black carrot. *Food Science and Biotechnology* **33**(4), 721-747. DOI: [10.1007/s10068-023-01436-5](https://doi.org/10.1007/s10068-023-01436-5)
- Wi, G., Bae, J., Kim, H., Cho, Y. & Choi, M.J. (2020). Evaluation of the physicochemical and structural properties and the sensory characteristics of meat analogues prepared with various non-animal based liquid additives. *Foods*, **9**(4), 1-19. DOI: [10.3390/foods9040461](https://doi.org/10.3390/foods9040461)
- Younis, K. & Ahmad, S. (2017). *Investigating the Functional Properties of Pineapple Pomace Powder and Its Incorporation in Buffalo Meat Products*.
- Younis, K., Ahmad, S. & Malik, M.A. (2021). Mosambi peel powder incorporation in meat products: Effect on physicochemical properties and shelf life stability. *Applied Food Research*, **1**(2), 1-10. DOI: [10.1016/j.afres.2021.100015](https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100015)



Anticancer Potential of Lyophilised Medicinal Leech (*Hirudo verbana*) of Saliva Extract Against Pancreatic Cancer (MIA PaCa-2) Cell Lines^[*]

Serkan ÖZDEMİR¹ Hüseyin AYHAN^{1,2*}

¹ Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Traditional Complementary and Integrative Medicine, Biotherapeutic Products Research and Development Program, 06010, Ankara, Türkiye.

² Ankara Yıldırım Beyazıt University, Vocational School of Health Services, 06760, Ankara, Türkiye.

Received: 16.01.2024

Accepted: 03.03.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Özdemir S. & Ayhan, H. (2025). Anticancer Potential of Lyophilised Medicinal Leech (*Hirudo verbana*) of Saliva Extract Against Pancreatic Cancer (MIA PaCa-2) Cell Lines. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, **10**(2), 167-173. <https://doi.org/10.35229/jaes.1619391>

Atıf yapmak için: Özdemir S. & Ayhan, H. (2025). Liyofilize Tıbbi Sülük (*Hirudo verbana*) Tükürük Ekstraktının Pankreas Kanseri (MIA PaCa-2) Hücre Hatlarına Karşı Antikanser Potansiyeli. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, **10**(2), 167-173. <https://doi.org/10.35229/jaes.1619391>

: <https://orcid.org/0009-0004-0794-5127>
 : <https://orcid.org/0000-0001-9519-5979>

*Corresponding author's:
Hüseyin AYHAN
Vocational School of Health Services, Ankara
Yıldırım Beyazıt University, Çubuk, Ankara
06760, Türkiye.
✉: hayhan@aybu.edu.tr

Abstract: Cancer is the second leading cause of death worldwide, after cardiovascular disease. It can affect any part of the body and spread to other organs. Pancreatic cancer is a tough disease to diagnose and treat. It is the fourteenth most common and the seventh deadliest cancer worldwide. New technology and innovative methods, combined with a range of therapeutic agents, have led to promising new anticancer treatments. The presence of various bioactive components in the secretions of medicinal leeches has prompted a re-evaluation of these organisms as a popular method in traditional medicine. In this study, the effect of the anticancer potential of lyophilised medicinal leech secretion on pancreatic cancer cell line (MIA PaCa-2) was investigated using XTT assay. A cell viability test was conducted to ascertain the degree of cytotoxicity following the administration of varying concentrations of medicinal leech secretion to cell lines over a period of 24, 48, and 72 hours. The percentage viability of cancer cells was determined at each concentration. The doses were adjusted using dilution procedures with ratios of 75 µg/ml, 150 µg/ml, 300 µg/ml, 600 µg/ml, and 1200 µg/ml. IC₅₀ value was determined at 24th hour: 484.48 µg/ml; at 48th hour: 330.92 µg/ml; at 72nd hour: 542.75 µg/ml. It was observed that the effect of *Hirudo verbana* leech secretion on pancreatic cancer (MIA PaCa-2) cell viability was not linear. It was determined that 600 µg/ml and 1200 µg/ml extracts had cytotoxic and anti-proliferative effects. These results indicate that the leech saliva extract has anti proliferative and cytotoxic effects and may have a promising role in developing new anticancer drugs.

Keywords: Anti-cancer, *Hirudo verbana*, Pancreatic Cancer, MIA PaCa-2, XTT.

Liyofilize Tıbbi Sülük (*Hirudo verbana*) Tükürük Ekstraktının Pankreas Kanseri (MIA PaCa-2) Hücre Hatlarına Karşı Antikanser Potansiyeli

Öz: Kanser, kardiyovasküler hastalıklardan sonra dünya çapında ikinci önde gelen ölüm nedenidir. Vücudun herhangi bir bölümünü etkileyebilir ve diğer organlara yayılabilir. Pankreas kanseri teşhis ve tedavisi zor bir hastalıktır. Dünya çapında en yaygın on dördüncü ve en ölümcül yedinci kanserdir. Yeni teknoloji ve yenilikçi yöntemler, bir dizi terapötik ajanla birleşerek umut verici yeni antikanser tedavilerine yol açmıştır. Tıbbi sülüklerin salgılarında çeşitli biyoaktif bileşenlerin bulunması, bu organizmaların geleneksel tıpta popüler bir yöntem olarak yeniden değerlendirilmesine neden olmuştur. Bu çalışma, liyofilize tıbbi sülük salgısının pankreas kanseri hücre hattı (MIA PaCa-2) üzerindeki antikanser potansiyelinin etkisi XTT testi kullanılarak incelenmiştir. Hücre hatlarına 24, 48 ve 72 saatlik bir süre boyunca değişen konsantrasyonlarda tıbbi sülük salgısının uygulanmasının ardından sitotoksitesite derecesini tespit etmek için bir hücre canlılık testi yapılmıştır. Kanser hücrelerinin canlılık yüzdesi her bir konsantrasyonda belirlenmiştir. Dozlar 75 µg/ml, 150 µg/ml, 300 µg/ml, 600 µg/ml ve 1200 µg/ml oranlarında seyreltme prosedürleri kullanılarak ayarlanmıştır. IC₅₀ değeri 24. saatte: 484,48 µg/ml; 48. saatte: 330,92 µg/ml; 72. saatte 542,75 µg/ml olarak belirlenmiştir. *Hirudo verbana* sülük salgısının pankreas kanseri (MIA PaCa-2) hücre canlılığı üzerindeki etkisinin doğrusal olmadığı gözlenmiştir. 600 µg/ml ve 1200 µg/ml ekstraktların sitotoksik ve anti-proliferatif etkileri olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, sülük tükürüğü ekstraktının anti proliferatif ve sitotoksik etkilere sahip olduğunu ve yeni antikanser ilaçların geliştirilmesinde umut verici bir role sahip olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Anti-kanser, *Hirudo verbana*, MIA PaCa-2, Pankreas Kanseri, XTT.

*Sorumlu yazar:
Hüseyin AYHAN
Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi,
Çubuk, Ankara 06760, Türkiye
✉: hayhan@aybu.edu.tr

^[*] This study was produced from the master thesis of Serkan ÖZDEMİR

Bu çalışma Serkan ÖZDEMİR'in yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

INTRODUCTION

Cancer is the second leading cause of mortality worldwide, following cardiovascular diseases (WHO, 2023). It is a complex and multifactorial disease characterized by the uncontrolled proliferation of cells, with both genetic predisposition and environmental factors playing a significant role in its development (Baykara, 2016). Among various cancer types, pancreatic cancer presents a significant diagnostic and therapeutic challenge. It is the fourteenth most common malignancy globally and ranks seventh in cancer-related mortality (Modi & Shires, 2020; McGuigan et al., 2018). Notably, approximately 85-90% of pancreatic cancers are classified as ductal adenocarcinomas, which exhibit high metastatic potential, spreading to both adjacent tissues and distant organs (Wolfgang et al., 2013; Modi & Shires, 2020).

While conventional cancer treatments follow standardized protocols, therapeutic approaches vary depending on the type and stage of cancer. Current treatment modalities include chemotherapy, immunotherapy, gene therapy, radiotherapy, and surgical interventions, which are often employed individually or in combination to enhance treatment efficacy (Fitzmaurice et al., 2015; Pavlopoulou et al., 2015). However, these treatments are frequently associated with adverse side effects that can impact patient outcomes and quality of life (Bray et al., 2013). With advancements in biomedical research, novel therapeutic strategies are being explored, including the use of natural bioactive compounds with potential anticancer properties (Surh, 2003; Deng et al., 2019).

Medicinal leeches have recently attracted increasing interest in traditional medicine due to their secretion of bioactive peptides and proteins with therapeutic properties (Abdulkader et al., 2013; Ayhan & Mollahaliloğlu, 2018). The saliva of *Hirudo verbana* is secreted along the dental ridges and exits through the excretory ducts located between the teeth. These bioactive molecules not only facilitate blood-feeding but also exert diverse pharmacological effects on the host (Ayhan et al., 2021). Several key compounds found in leech saliva, including vasodilators, anticoagulants, anti-inflammatory agents, analgesics, and bacteriostatics, have been demonstrated to influence immune function, regulate blood pressure, and promote tissue and organ repair (Gödekmerdan et al., 2011; Ayhan et al., 2025). Among these components, antistasin, a protein identified in leech secretions, has been shown to inhibit cancer cell colonization and exhibit antimetastatic activity (Ammar et al., 2015; Shakouri et al., 2021). In addition to anti-proteolytic, platelet aggregation inhibitors and anticoagulant enzymes, anti-tumour activity is involved in

other elements such as hyaluronidase. By eliminating the hyaluronic acid-CD44 interaction, hyaluronidase antitumour activity is thought to be mediated to some extent through pro-tumourigenic immune cell inhibition into the tumour stroma (Singh & Rajoria, 2020). Some studies have identified synthetic hirudin to be successful as an effective metastasis inhibitor of various cancer cells such as pulmonary carcinoma, osteosarcoma, leukaemia and breast carcinoma (Ammar et al., 2017). Hirudin obtained from the secretion of *Hirudo medicinalis* shows practical anti-metastatic activity in various malignancies such as pulmonary carcinoma, osteosarcoma, breast carcinoma and leukaemia (Dong et al., 2019).

Given these promising bioactive properties, this study aims to evaluate the anticancer potential of lyophilized *Hirudo verbana* secretion on the pancreatic cancer cell line MIA PaCa-2.

MATERIAL AND METHOD

Chemicals and Cell Lines: The MIA PaCa-2 cell line was obtained from the Ankara Yıldırım Beyazıt University Central Research Laboratory Application and Research Centre, where the study was conducted. The cells were cultured in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) supplemented with 50 ml fetal bovine serum (FBS) and 5 ml penicillin-streptomycin. All procedures were performed in a laminar flow safety cabinet to ensure sterility. The cells were subsequently seeded in fresh medium in 25 cm² flasks and incubated at 37°C in a humidified atmosphere containing 5% CO₂ until reaching the desired confluency.

Preparation of Medicinal Leech Secretion: Medicinal leeches (*Hirudo verbana*) were obtained from a licensed farm approved by the Ministry of Agriculture and Forestry. The leeches were maintained in glass jars containing chlorine-free tap water, which was replaced every two to three days. Species identification was performed using a Euromex NZ.1903-S trinocular stereo microscope following the taxonomic criteria established by Davies (1991), Sawyer (1986), Neubert and Nesemann (1999), and Sağlam (2004).

To optimize secretion extraction, the leeches underwent a four-month starvation period. A solution mimicking human blood fluid, composed of 0.001 M arginine and 0.07 M sodium chloride, was prepared as a stimulant for secretion induction (Abdulkader, 2011). After ingestion of the solution, the leeches were allowed to regurgitate the ingested content. The expelled colorless salivary fluids were centrifuged at 3500 rpm at +4°C for 10 minutes, followed by filtration through a 0.8 µm membrane filter. The obtained secretion was frozen at -80°C for 24

hours and subsequently lyophilized for 48 hours to obtain a solid powdered form.

Protein Analysis in Medicinal Leech Secretion

Extract: The lyophilized leech secretion was dissolved in DMEM, and the total protein concentration was quantified using the Bradford Protein Assay Kit (ABP Biosciences, USA) in accordance with the Bradford method (Bradford, 1976). Based on the total protein concentration, experimental doses of 1200 µg/mL, 600 µg/mL, 300 µg/mL, 150 µg/mL, and 75 µg/mL were prepared by serial dilution for subsequent experiments.

Cytotoxic Evaluation: Cell viability, cytotoxicity, and proliferation were assessed using the XTT assay, a colorimetric method that measures the conversion of tetrazolium salt into a water-soluble orange formazan in metabolically active cells. The assay was performed in accordance with the manufacturer's protocol to evaluate the cytotoxic effects of leech secretions on the MIA PaCa-2 cell line.

Following the administration of the secretion at various concentrations, the cells were incubated under controlled conditions (95% humidity, 5% CO₂, and 37°C). After a 2.5-hour incubation period, the culture plates were removed, and absorbance was measured at 450 nm and 650 nm. To eliminate non-specific absorption, values obtained at 650 nm were subtracted from those at 450 nm. The negative control group, which was not exposed to the secretion, was considered 100% viable, and the viability rates of treated groups were calculated relative to this control. The calculation formula used was:

$$(\text{Experimental group mean value} / \text{Control group mean value}) \times 100$$

The XTT assay was conducted in triplicate at dilution ratios of 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, and 1:16 for incubation periods of 24, 48, and 72 hours. Furthermore, IC₅₀ values were determined by nonlinear regression curve fitting using response data normalized against the logarithm of the secretion concentration.

Statistical Analysis: The IC₅₀ values obtained at 24, 48, and 72 hours from the XTT assay were subjected to statistical analysis using the Excel power regression function. The mean, standard deviation, and percentage viability ratios were calculated using IBM SPSS Statistics 21 software (IBM SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS

Cytotoxic Evaluation of Medicinal Leech Secretion Extract on Cancer Cells:

The percentage of cell viability was calculated using the following formula:

$$(\text{Experimental group mean value} / \text{Control group mean value}) \times 100$$

The control group was considered 100% viable for cytotoxicity assessments. The power regression

analysis of the XTT assay results for different concentrations of medicinal leech secretion applied to the MIA PaCa-2 cell line in Excel yielded the following IC₅₀ values at the specified time points: 484.49 µg/mL at 24 hours (Figure 1), 330.92 µg/mL at 48 hours (Figure 2), and 542.75 µg/mL at 72 hours (Figure 3).

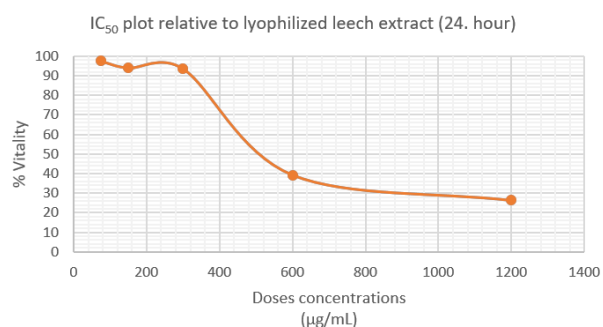


Figure 1. IC₅₀ plot relative to lyophilized leech extract at 24 hours.

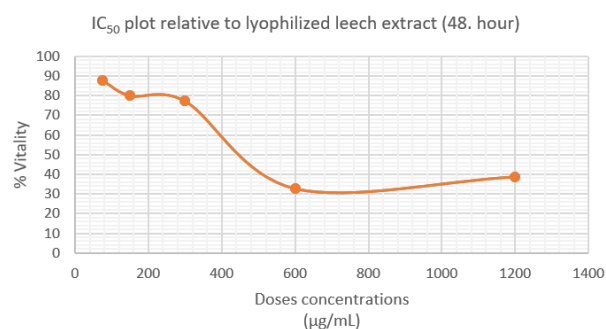


Figure 2. IC₅₀ plot relative to lyophilized leech extract at 48 hours.

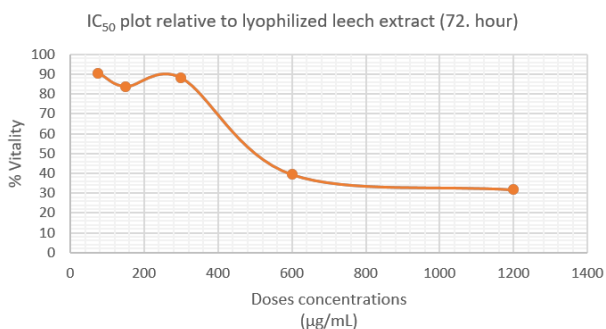


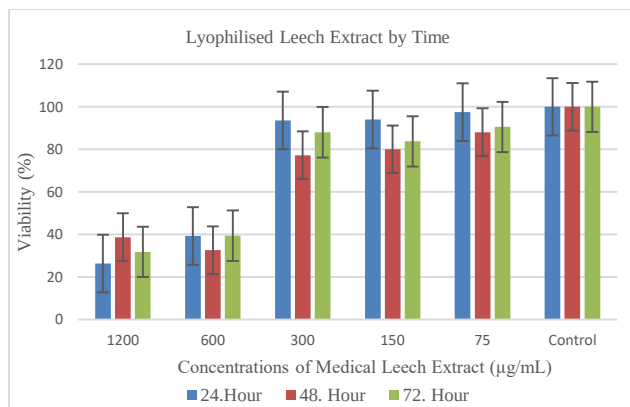
Figure 3. IC₅₀ plot relative to lyophilized leech extract at 72 hours.

The viability rates of cells treated with leech secretion were statistically evaluated based on measurements taken at 24-hour intervals. The percentage of viable cells in each dose group at 24 hours was as follows: 75 µg/mL, 97.49%; 150 µg/mL, 94.06%; 300 µg/mL, 93.58%; 600 µg/mL, 39.24%; and 1200 µg/mL, 26.31%. At the 48-hour interval, the viability rates were: 75 µg/mL, 87.74%; 150 µg/mL, 80.05%; 300 µg/mL, 77.26%; 600 µg/mL, 32.63%; and 1200 µg/mL, 38.71%. At 72 hours, the viability rates were: 75 µg/mL, 90.56%; 150 µg/mL, 83.75%; 300 µg/mL, 88.04%; 600 µg/mL, 39.43%; and 1200 µg/mL, 31.79% (Table 1).

Table 1. Cell viability (%) was measured at 24, 48, and 72 hours according to the absorbances obtained as a result of the XTT test.

Times	Control	1200 µg/ml	600 µg/ml	300 µg/ml	150 µg/ml	75 µg/ml
24 hour	100	26,31	39,24	93,58	94,06	97,49
48 hour	100	38,71	32,63	77,26	80,05	87,74
72 hour	100	31,79	39,43	88,04	83,75	90,56

The cytotoxic effects of medicinal leech secretion on MIA PaCa-2 cells are illustrated in Figure 4. According to the results, a significant dose-dependent decrease in the viability of pancreatic cancer cells was observed.

**Figure 4.** Effects of different concentrations of leech secretion extract on MIA PaCa-2 cell viability.

DISCUSSION

Although pancreatic cancer is predominantly observed in older individuals, it is more frequently diagnosed in males and is associated with a high mortality rate (Wolfgang, 2013; Ferlay et al., 2018). The lifetime risk of developing pancreatic cancer is estimated to be approximately 1.6%. While incidence rates vary globally, an annual increase of 0.5% to 1% has been reported (Daniel, 2018; Ilic & Ilic, 2016). Pancreatic cancers can originate from both exocrine and endocrine cells, with exocrine tumors being more prevalent. Pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC), the most common type of exocrine tumor, accounts for over 90% of all malignant pancreatic tumors (Fesinmeyer et al., 2005). PDAC frequently metastasizes to the liver and lymph nodes (Kern et al., 2002). PDAC is often diagnosed at an advanced stage due to the absence of early symptoms, at which point metastasis may have already occurred, reducing the efficacy of available treatment options (Fesinmeyer et al., 2005). Current therapeutic options for metastatic PDAC include gemcitabine/nab-paclitaxel, modified folinic acid, irinotecan, irinotecan/fluorouracil, fluorouracil, oxaliplatin, gemcitabine/capecitabine, and gemcitabine monotherapy. Research into the cellular origin and molecular profile of PDACs has enabled oncologists to develop personalized treatment strategies (Taherian et al., 2022). However, despite extensive scientific investigation, these chemotherapy regimens remain limited in efficacy and are associated with adverse effects. Consequently, there is a need to identify natural pharmaceutical

compounds with minimal adverse effects, lower cost, and reduced drug resistance for cancer treatment (Muhammad et al., 2022; Aysin et al., 2024).

Medicinal leech treatments have been utilized as a traditional and complementary therapeutic approach for centuries. Historically, leech secretions have been employed in traditional Chinese medicine for the treatment of various cancers, including esophageal, gastrointestinal, uterine, and breast cancer (Guo et al., 2006; Tural & Ayhan, 2024). In recent years, scientific studies have investigated the bioactive compounds found in leeches, leading to the development of novel therapeutic agents (Gödekmerdan et al., 2011). The United States Food and Drug Administration (FDA) approved the use of medicinal leeches for therapeutic applications in 2004. The salivary secretions of the leech contain agents that show anti-metastatic and anti-tumour activity. These secretions contain antistasin, a protein known to inhibit cancer cell colonization, and hyaluronidase, which has demonstrated antitumor activity (Baskova et al., 2008; Ammar et al., 2015; Alaama et al., 2024). Hypercoagulability is frequently observed in patients with malignant tumors. Studies have indicated that leech therapy leads to a slight prolongation of prothrombin time and activated partial thromboplastin time, alongside reductions in fibrinogen and D-dimer levels. Furthermore, when combined with conventional medical treatments, leech therapy has been found to mitigate the toxicity and side effects of interventional chemotherapy and hemorrhagic events, while also improving coagulation function in hypercoagulable patients (Tang et al., 2012). Leech therapy is a promising method clinically used for patients with different types of cancer; however, the resistance of tumour cells to this agent is still the main obstacle to effective cancer treatment.

To date, several studies have been conducted to examine the antiproliferative and cytotoxic activities of leech secretion across different cancer types. Transcriptome analysis of tumour samples showed that Leech Saliva Ekstract (LSE) had significant immunomodulatory and anti-inflammatory effects, together with significant effects on cell-cell adhesion, induction of glutathione transferase and inhibition of certain growth factors. Consequently, these effects led to significant cell cycle arrest, increase in apoptosis and decrease in proliferation (Ammar et al., 2015). A study evaluating the effects of *Hirudo medicinalis* secretion on cancer cell lines reported an antitumor activity rate increase of 97% in the liposomal form of leech secretion compared to direct application in MCF-7 breast cancer cells. Additionally, an antiproliferative effect of 10% was observed in the healthy HUVEC cell line (Shakouri, 2022). Similarly, an in vitro investigation into the effects of

Hirudo verbana secretion on a breast fibroblast cell line demonstrated significant alterations in cell viability, migration capacity, and gene expression in response to different concentrations of leech secretion (Ünal et al., 2023). The extraction yields of *H.verbana* leech saliva extracts were in line with the study by Shakouri et al. (2021), which showed the similar results with the yield of leech saliva extracts.

In the present study, *Hirudo verbana* secretion, one of the most commonly studied medicinal leech species, was investigated for the first time on the MIA PaCa-2 pancreatic cancer cell line. The findings reveal the selective and dose-dependent anticancer effects of leech secretion on MIA PaCa-2 cells, corroborating earlier reports of lower IC₅₀ values in cancer cells. It is hypothesized that bioactive compounds in leech secretion, including hirudin, hyaluronidase, and antistasin, may exert cytotoxic and apoptotic effects. The effect of leech secretion on cellular viability was found to be dependent on both concentration and exposure duration. Notably, following treatment with 1200 µg/mL of leech secretion for 24 to 72 hours, cell growth inhibition reached up to 75%. Lower concentrations exhibited a more pronounced effect on cell viability at 48 and 72 hours, while minimal effects were observed at 24 hours. In conclusion, leech secretion has the potential to serve as a natural and effective anticancer agent. Further studies are required to elucidate the mechanisms of action and in vivo efficacy.

CONCLUSION

The results presented in this study make a novel contribution to the existing literature on the mechanism of action of medicinal leech secretions and provide a foundation for further research. The findings have significant implications for the development of drugs that can effectively target different aspects of cancer treatment. The IC₅₀ value of the medicinal leech secretion decreased at 48 hours and increased at 72 hours. Additional studies are still needed to elucidate the reason for this, to separate and determine the active principle, to check the mechanism of action and to evaluate the effect on different cell line types. Despite increasing interest in the bioactive compounds of leeches, further in vitro and in vivo studies are necessary to fully establish their potential anticancer properties. The anti-cancer effect of leech saliva can be further improved by the use of combined therapy and thus becomes a promising remedy for the application of pancreatic cancer patients.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study constitutes the master's thesis of Serkan ÖZDEMİR, conducted under the supervision of Hüseyin AYHAN. The authors extend their gratitude to

Kübranur ÜNAL and Mustafa GÜNGÖRMÜŞ for their assistance in laboratory studies and their support throughout the research. Special thanks are also extended to Fatma ÇORUK for proofreading the English of the manuscript. Additionally, the authors acknowledge the support provided by AYBU MERLAB in all technical aspects. All authors declare that they have no actual or potential competing financial interests.

STATEMENTS AND DECLARATIONS

Ethical Approval Certificate: Ethical approval is not required since the medicinal leeches secreted in our study are invertebrate animals.

Author Contribution Statement: Serkan ÖZDEMİR: Investigation, formal analysis; writing-original draft; methodology; validation.

Hüseyin AYHAN: Investigation; writing-original draft; Supervision; methodology; validation; writing-review & editing; software; formal analysis; data curation.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Abdualkader, A.M., Merzouk, A., Ghawi, A.M. & Alaama, M. (2011). Some biological activities of Malaysian leech saliva extract. *IIUM Engineering Journal*, 12(4). DOI: 10.31436/iiumej.v12i4.156
- Abdualkader, A.M., Ghawi, A.M., Alaama, M., Awang, M. & Merzouk, A. (2013). Leech therapeutic applications. *Indian journal of pharmaceutical sciences*, 75(2), 127-137.
- Alaama, M., Kucuk, O., Bilir, B., Merzouk, A., Ghawi, A. M., Yerer, M. B., Ahmado, M. A., Abdualkader, A. M. & Helaluddin, A. B. M. (2024). Development of Leech extract as a therapeutic agent: A chronological review. *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*, 10, 100355. DOI: 10.1016/j.prmcm.2023.100355
- Ammar, A.E., Hassona, M.H., Meckling, G.R., Chan, L.G., Chin, M.Y., Abdualkader, A., Alaama, M., Merzouk, A., Helaluddin, A., Ghawi, A., Kucuk, O. & Guns, E.S. (2015). Assessment of the antitumor activity of leech (*hirudinaria manillensis*) saliva extract in prostate cancer. *Cancer Research*, 75(15_Supplement), 5130-5130. DOI:10.1158/1538-7445.AM2015-5130
- Ammar, A., Guns, E., Kucuk, O., Abdualkader, A., Alaama, M., Uddin, A.H., ... & Hassona, M. (2017). Mechanism of anticancer activity of BPS-001 (lyophilized leech saliva extract). *Cancer Research*, 77 (13_Supplement), 107-107. DOI: 10.1158/1538-7445.AM2017-107

- Ayhan, H. & Mollahaliloğlu, S. (2018). Tıbbi sülük tedavisi: Hirudoterapi. *Ankara Medical Journal*, 18(1), 141-148. DOI: 10.17098/amj.409057
- Ayhan, H., Özyurt Koçakoğlu, N. & Candan, S. (2021). Functional morphology of the suckers and teeth of the medicinal leech *Hirudo verbana* Carena, 1820 (Annelida; Clitellata; Hirudinida): A scanning electron microscope study. *Microscopy Research and Technique*, 84(12), 2930-2935. DOI: 10.1002/jemt.23851
- Ayhan, H., Sevin, S., Karaaslan, S. & Ayaz, F. (2025). Immunomodulatory effects of medicinal leech saliva extract on in vitro activated macrophages. *Immunologic Research*, 73(1), 1-8. DOI: 10.1007/s12026-024-09575-5
- Aysin, F., Özek, N.S., Acet, N. & Koc, K. (2024). The Anti-Proliferative Effects of Ficus carica Latex on Cancer and Normal Cells. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 9(2), 145-151. DOI: 10.35229/jaes.1412816
- Baskova, I.P., Kostrjukova, E.S., Vlasova, M.A., Kharitonova, O.V., Levitskiy, S.A., Zavalova, L.L., Moshkovskii, S.A. & Lazarev, V.N. (2008). Proteins and peptides of the salivary gland secretion of medicinal leeches *Hirudo verbana*, *H. medicinalis*, and *H. orientalis*. *Biochemistry (Moscow)*, 73, 315-320. DOI: 10.1134/S0006297908030127
- Baykara, O. (2016). Kanser Tedavisinde Güncel Yaklaşımlar. *Balikesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 154-165.
- Bray, F., Ren, J.S., Masuyer, E. & Ferlay, J. (2013). Global estimates of cancer prevalence for 27 sites in the adult population in 2008. *International journal of cancer*, 132(5), 1133-1145. DOI: 10.1002/ijc.27711
- Daniel D. Von Hoff. (2018). Pancreatic Cancer: Harrison's Principles of Internal Medicine 20th ed., Mc Graw Hill Education.
- Davies, R.W. (1991). *Annelida: Leeches, Polychaetes and Acanthobdellids*. In: Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. In J. H., Thorp, A. P., Covich, (Eds.) Academic Press, New York, 437-79.
- Deng, S., Shanmugam, M.K., Kumar, A.P., Yap, C.T., Sethi, G. & Bishayee, A. (2019). Targeting autophagy using natural compounds for cancer prevention and therapy. *Cancer*, 125(8), 1228-1246. DOI: 10.1002/cncr.31978
- Dong, P., Rakesh, K.P., Manukumar, H.M., Mohammed, Y.H.E., Karthik, C.S., Sumathi, S., ... & Qin, H.L. (2019). Innovative nano-carriers in anticancer drug delivery-a comprehensive review. *Bioorganic chemistry*, 85, 325-336. DOI:10.1016/j.bioorg.2019.01.019
- Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Mathers, C., Parkin, D.M., Piñeros, M., Znaor, A. & Bray, F. (2019). Estimating the global cancer incidence and mortality in 2018: GLOBOCAN sources and methods. *International journal of cancer*, 144(8), 1941-1953. DOI: 10.1002/ijc.31937
- Fesinmeyer, M.D., Austin, M.A., Li, C.I., De Roos, A.J. & Bowen, D.J. (2005). Differences in survival by histologic type of pancreatic cancer. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 14(7), 1766-1773. DOI: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0120
- Fitzmaurice, C., Dicker, D., Pain, A., Hamavid, H., Moradi-Lakeh, M., MacIntyre, M.F. & Naghavi, M. (2015). The global burden of cancer 2013. Global Burden of Disease Cancer Collaboration. *JAMA oncology*, 1(4), 505-527. DOI: 10.1001/jamaoncol.2015.0735
- Gödekmerdan, A., Arusan, S., Bayar, B. & Sağlam, N. (2011). Tıbbi sülükler ve hirudoterapi. *Turkish Journal of Parasitology*, 35(4), 234-239.
- Guo, Y., Tian, X. & Xiao, Z. (2006). Study on inhibition effects of freeze-thawing leech extract on HepG2 cells. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, (12).
- Ilic, M. & Ilic, I. (2016). Epidemiology of pancreatic cancer. *World journal of gastroenterology*, 22(44), 9694. DOI: 10.3748/wjg.v22.i44.9694
- Kern, S.E., Hruban, R.H., Hidalgo, M. & Yeo, C.J. (2002). An introduction to pancreatic adenocarcinoma genetics, pathology and therapy. *Cancer Biology & Therapy*, 1(6), 607-613. DOI: 10.4161/cbt.307
- McGuigan, A., Kelly, P., Turkington, R.C., Jones, C., Coleman, H.G. & McCain, R.S. (2018). Pancreatic cancer: A review of clinical diagnosis, epidemiology, treatment and outcomes. *World Journal of Gastroenterology*, 24(43), 4846. DOI: 10.3748/wjg.v24.i43.4846
- Modi B. & Shires G.T. (2020). Pancreatic cancer, cystic pancreatic neoplasms, and other nonendocrine pancreatic tumor. In: Feldman M, Friedman L, Brandt L; (Eds.) *Sleisenger and Fordtran's Gastrointestinal and Liver Disease*, 11th edition. Philadelphia: Elsevier, 947-965.
- Muhammad, N., Usmani, D., Tarique, M., Naz, H., Ashraf, M., Raliya, R., Tabrez S., Zughaibi, T. A., Alsaieedi A., Hakeem, I.J. & Suhail, M. (2022). The role of natural products and their multitargeted approach to treat solid cancer. *Cells*, 11(14), 2209. DOI: 10.3390/cells11142209
- Neubert, E. & Nesemann H. (1999). *Annelida, Clitellata: Branchiobdellida, Acanthobdellida, Hirudinea. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 6/2*. Spektrum Akademischer Verlag, 176.
- Pavlopoulou, A., Spandidos, D.A. & Michalopoulos, I. (2015). Human cancer databases. *Oncology Reports*, 33(1), 3-18. DOI: 10.3892/or.2014.3579
- Sağlam, N. (2004). *Tatlı Su ve Deniz Sülükleri Tanı Anahtarı*. Fırat Üniversitesi Basım Evi.
- Sawyer, R.T. (1986). *Leech Biology and Behaviour*. Clarendon Press, Oxford.
- Shakouri, A. & Wollina, U. (2021). Time to change theory; medical leech from a molecular medicine perspective leech salivary proteins playing a

- potential role in medicine. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, **11**(2), 261. DOI: [10.34172/apb.2021.038](https://doi.org/10.34172/apb.2021.038)
- Shakouri, A., Kahroba, H., Hamishekar, H. & Abdolalizadeh, J. (2021).** Nanoencapsulation of *Hirudo medicinalis* proteins in liposomes as a nanocarrier for inhibiting angiogenesis through targeting VEGFA in the Breast cancer cell line (MCF-7). *BioImpacts: BI*, **12**(2), 115. DOI: [10.34172/bi.2021.39](https://doi.org/10.34172/bi.2021.39)
- Singh, S.K. & Rajoria, K. (2020).** Medical leech therapy in Ayurveda and biomedicine—A review. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, **11**(4), 554-564. DOI: [10.1016/j.jaim.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jaim.2018.09.003)
- Surh, Y.J. (2003).** Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals. *Nature Reviews Cancer*, **3**(10), 768-780.
- Taherian, M., Wang, H. & Wang, H. (2022).** Pancreatic ductal adenocarcinoma: molecular pathology and predictive biomarkers. *Cells*, **11**(19), 3068. DOI: [10.3390/cells11193068](https://doi.org/10.3390/cells11193068)
- Tang, L., Duan, Q.H. & Fan, P.S. (2012).** Clinical study on leech in treating hypercoagulable state of malignant tumors. *Clinical Journal of Traditional Chinese Medicine*, **24**, 871-872.
- Tural, Ö. & Ayhan, H. (2024).** The Anti-Proliferative Activity of Lyophilised Medicinal Leech (*Hirudo Verbana*) Saliva Extract on Breast Cancer Cell Line (MCF-7). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **9**(4), 508-513. DOI: [10.35229/jaes.1541179](https://doi.org/10.35229/jaes.1541179)
- Ünal, K., Tırnk, N., Erol, M., İbrahimkhanlı, L., Elçi, M. & Ayhan, H. (2023).** The Investigation of Effects of Medicinal Leech Saliva Extract on the Breast Fibroblast Cell Line In Vitro: An Experimental Study. *Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Dergisi*, **6**(2). DOI: [10.5336/jtracom.2022-92875](https://doi.org/10.5336/jtracom.2022-92875)
- Wolfgang, C.L., Herman, J.M., Laheru, D.A., Klein, A.P., Erdek, M.A., Fishman, E.K. & Hruban, R.H. (2013).** Recent progress in pancreatic cancer. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **63**(5), 318-348. DOI: [10.3322/caac.21190](https://doi.org/10.3322/caac.21190)
- World Health Organization (WHO). (2023).** Noncommunicable disease. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases> Access date: 28.07.2024



Şanlıurfa İli Haliliye İlçesinde Kentsel Açık Yeşil Alanların Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi

Erdi EKREN^{1*} İbrahim Halil HATİPOĞLU² Ahmet Serkan AKHARMAN³ Kübra KAHYA⁴

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun, Türkiye

³ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

⁴ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Geliş Tarihi: 21.01.2025

Kabul Tarihi: 03.03.2025

Basım Tarihi: 25.03.2025

Atıf yapmak için: Ekren, E. Hatipoğlu, İ.H., Akharman, A.S. & Kahya K. (2025). Şanlıurfa İli Haliliye İlçesinde Kentsel Açık Yeşil Alanların Kurakçıl Peyzaj Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(2), 174-181. <https://doi.org/10.35229/jaes.1624463>

How to cite: Ekren, E. Hatipoğlu, İ.H., Akharman, A.S. & Kahya K. (2025). Evaluation of Urban Open Green Areas in Haliliye District of Şanlıurfa Province with Xeriscape Approach. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(2), 174-181. <https://doi.org/10.35229/jaes.1624463>

*ID: <https://orcid.org/0000-0003-1223-3568>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-7236-4976>
ID: <https://orcid.org/0009-0004-2481-804X>
ID: <https://orcid.org/0009-0005-8705-4777>

***Sorumlu yazarın:**

Erdi EKREN
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü,
Kahramanmaraş, Türkiye
✉: EEKREN@ksu.edu.tr

Öz: Kentleşmenin, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde, su kaynakları üzerindeki baskıyı artırdığı ve sürdürülebilir yönetimi zorlaştırdığı bilinmektedir. Şanlıurfa, uzun yıllar boyunca düşük yağış miktarları ve düzensiz yağış rejimi ile dikkat çeken bir bölge olarak, kurakçıl peyzaj yaklaşımının uygulanmasına uygun bir örnek teşkil etmektedir. Bu çalışma, Şanlıurfa ili Haliliye ilçesindeki kentsel açık ve yeşil alanların kurakçıl peyzaj (Xeriscape) yaklaşımı bağlamında değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Çalışmada, Xeriscape yaklaşımının temel ilkeleri doğrultusunda alanın su kullanım ihtiyaçları, iklim koşulları ve bitki seçimi gibi unsurlar incelenmiştir. Araştırma kapsamında 85 farklı bitki taksonu tespit edilmiştir; bunların %40'ı (34 takson) doğal, %60'ı (51 takson) egzotik taksonlardır. Çalışma alanlarında tespit edilen tüm bitkilerin su istekleri değerlendirildiğinde 7 (%8) taksonun az, 38 (%45) taksonun az-orta, 34 (%40) taksonun orta, 2 (%2) taksonun orta-çok, 4 (%5) taksonun ise çok su isteği olduğu görülmüştür. Araştırma bulguları, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için düşük su tüketen bitki taksonlarının ve etkili sulama yöntemlerinin önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, Şanlıurfa'da kurakçıl peyzaj düzenlemelerinin yerel çevresel koşullara adaptasyon sağlayarak hem ekolojik dengeyi koruyabileceği hem de kentsel alanlarda estetik ve fonksiyonel katkılar sunabileceği sonucuna ulaşılmış ve çeşitli öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kurakçıl peyzaj, kuraklık, iklim değişikliği, kentsel açık yeşil alanlar, Şanlıurfa.

Evaluation of Urban Open Green Areas in Haliliye District of Şanlıurfa Province with Xeriscape Approach

Abstract: Urbanization, especially in semi-arid and arid regions, is known to increase the pressure on water resources and make sustainable management difficult. Şanlıurfa, as a region characterized by low rainfall and irregular rainfall regime for many years, constitutes a suitable example for the application of arid landscape approach. This study aims to evaluate urban open and green areas in Haliliye district of Şanlıurfa province in the context of the Xeriscape approach. In the study, in line with the basic principles of the Xeriscape approach, factors such as water use needs of the area, climatic conditions and plant selection were examined. Within the scope of the study, 85 different plant taxa were identified; 40% (34 taxa) of these are native and 60% (51 taxa) are exotic taxa. When the water requirements of all plants identified in the study areas were evaluated, it was seen that 7 (8%) taxa had low water requirements, 38 (45%) taxa had low-medium water requirements, 34 (40%) taxa had medium water requirements, 2 (2%) taxa had medium to high water requirements and 4 (5%) taxa had high water requirements. Research findings emphasize the importance of low water consuming plant species and effective irrigation methods for sustainable management of water resources. In addition, it was concluded that Xeriscape applications in Şanlıurfa can both maintain ecological balance and provide aesthetic and functional contributions in urban areas by adapting to local environmental conditions and various recommendations were developed.

Keywords: Xeriscape, drought, climate change, urban open green areas, Şanlıurfa.

***Corresponding author's:**

Erdi EKREN
Kahramanmaraş Sütçü İmam University,
Faculty of Forestry, Department of Landscape
Architecture, Kahramanmaraş, Türkiye
✉: EEKREN@ksu.edu.tr

GİRİŞ

Kentleşme, kırsal nüfusun şehir merkezlerine göç etmesiyle birlikte şehirlerin fiziki, sosyal ve ekonomik yapılarında meydana gelen değişimlerin sonucunda gelişen bir süreçtir. Bu süreç, sanayileşme, nüfus artışı ve ekonomik gelişmeyle yakından ilişkilidir. Kentleşme, fiziksel mekân düzenlemelerinden toplumsal davranışlara kadar pek çok alanı etkiler (Sağlam, 2006; Çalışkan & Öztürk, 2019; Kayan & Mardinli, 2020). Kentleşmenin doğal çevre üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler, özellikle hızlı ve plansız kentleşme süreçlerinde belirgin hâle gelir. Genel olarak kentleşme; arazi kullanımında hatalı değişikliklere, su kaynaklarına ve iklim üzerine olumsuz etkilere, kentsel açık yeşil alanların azalmasına ve toprak kirliliğine neden olmaktadır (Karakaş, 2017; Şahin & Gökdemir, 2019; Uygur Erdoğan, 2022). Tüm bu olumsuz etkiler kapsamında kentleşme günümüzün en büyük sorunlarından olan küresel ısınmayı hızlandırarak, sıcaklıkların artmasına ve dünyanın birçok yerinde kuraklığın gözlemlenmesine neden olmaktadır (Türkeş, 2012; Satır Reyhan & Reyhan, 2016; Partigöç & Soğancı, 2019).

Su kaynakları üzerinde ciddi bir baskı oluşturan kentleşme bu kaynakların sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmaktadır. Artan nüfus yoğunluğu, sanayi ve tarım faaliyetlerinin genişlemesi, su talebini önemli ölçüde artırmaktadır. Kentleşme sürecinde, geçirimsiz yüzeylerin (beton, asfalt) artışı, yağmur sularının yeraltı su rezervlerine ulaşmasını engelleyerek su döngüsünü bozmaktadır (Korkut vd., 2016). Kentleşme, iklim değişikliği ile birleşerek su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da yoğunlaştırmaktadır. Artan sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, buharlaşmayı hızlandırmakta ve su rezervlerinin yenilenmesini engellemektedir (Karaman & Gökalp, 2010; Ayva vd., 2023). Bu durum, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde daha kritik bir hal almaktadır.

Su kaynakları üzerinde artan baskının tetiklediği olumsuz etkilerin bertaraf edilebilmesi amacıyla, ekolojik temelli planlama yaklaşımlarına duyulan gereksinin gitgide daha belirgin hâle gelmiştir. Bu bağlamda, su kaynaklarının korunması ve suyun tasarruflu bir şekilde kullanımı, özellikle su kıtlığı yaşayan bölgelerde, peyzaj düzenleme çalışmalarında öncelikli konular arasında yerini almıştır (Barış, 2007; Küçükali, 2013; Bayramoğlu, 2016). Kentleşmenin hızlanmasıyla birlikte, açık yeşil alanlarda su tüketimi büyük boyutlara ulaşmış ve bu durum, mevcut kaynakların sürdürülebilir kullanımını tehdit eder hâle gelmiştir. Geleneksel peyzaj düzenlemeleri, yoğun sulama gereksinimi nedeniyle bu baskıyı artırırken, düşük su

kullanımı esasına dayalı yeni yöntemlerin geliştirilmesi zorunlu hâle gelmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan Xeriscape (Kurakçıl Peyzaj) yaklaşımı hem suyun verimli kullanımını sağlamayı hem de ekolojik dengeyi korumayı amaçlayan çözümler sunmaktadır (Çorbacı vd., 2011; Sezen vd., 2018). Bu yaklaşımın dayandığı temel ilkeler kısaca şu şekilde özetlenebilir. İlk olarak, peyzajın planlama ve tasarım süreci, alanın su ihtiyaçlarını, iklim koşullarını ve topoğrafyasını göz önünde bulundurarak suyun maksimum verimlilikle kullanılmasını amaçlamaktadır. İkinci olarak, toprak analizi ve iyileştirme çalışmaları, toprağın su tutma kapasitesini artırmak için organik maddeyle zenginleştirilmesini içermektedir. Üçüncü olarak, düşük su ihtiyacına sahip doğal bitkilerin seçimi, su tüketimini minimize ederek biyolojik çeşitliliği desteklemektedir. Etkili sulama teknikleri kapsamında, damlama sulama gibi yöntemler, suyun buharlaşma kaybını önleyerek doğrudan kök bölgesine ulaşmasını sağlamaktadır. Toprak yüzeyinin malç ile kaplanması, buharlaşmayı azaltırken, yabancı otların büyümesini engelleyerek toprağın nemini korumaktadır. Geleneksel çim alanların yerine düşük su tüketen yer örtücülerin tercih edilmesi su tüketimini daha da azaltmaktadır. Son olarak, sulama sistemlerinin düzenli bakımı, yabancı otların temizlenmesi ve malç yenilemesi gibi uygulamalar, peyzajın sürdürülebilirliğini sağlamaktadır (Taşçıoğlu vd., 2019; Çorbacı & Bayramoğlu, 2021; Hersek & Korkut, 2021; Çorbacı & Ekren, 2022; Ünal Çilek, 2022). Bu ilkeler, estetik ve fonksiyonel özellikleri koruyarak su tasarrufunu destekleyen sürdürülebilir peyzaj alanlarının oluşturulmasına katkı sağlar.

Kentsel açık yeşil alanlarda kullanılan bitkilerin su isteklerinin belirlenerek kurakçıl peyzaj ile ilgili önerilerin geliştirildiği çalışmalar kuraklıkla mücadele edilmesinde yol gösterici niteliktedir. Bu kapsamda Türkiye’de farklı coğrafi bölgelerde kurakçıl peyzaj konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yazıcı vd. (2014) Isparta kentinde, Çetin & Mansuroğlu (2018) Antalya Konyaaltı’nda, Ercan Oğuztürk & Bayramoğlu (2020) Rize Sahil Parkı’nda, Pouya vd. (2020) Malatya İnönü Üniversitesi Yerleşkesi’nde, Çöp & Akat (2021) Muğla Sarıgerme Halk Plajı’nda, Hersek & Korkut (2021) Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Yerleşkesi’nde, Kamer Aksoy vd. (2022) Çankırı kentinde, Çorbacı & Ekren (2022) Ankara Altınpark’ta, Gür & Kahraman (2024) Şanlıurfa tarihi ve kültürel alanlarında kurakçıl peyzaj ile ilgili çalışmalar yapmışlardır.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “2023 Yılı Yağış Değerlendirmesi”

raporunda Şanlıurfa ili hakkında önemli bilgiler paylaşılmıştır. Öyle ki, uzun yıllar ortalamalarına göre Türkiye’de en düşük yağışların İç Anadolu’nun orta kesimleri ile Şanlıurfa, Ağrı ve Iğdır çevrelerinde gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca 2023 yılı kış mevsim yağışlarının, Şanlıurfa’da %60’ın üzerinde azaldığı belirtilmiştir. 2023 yılı yaz mevsim yağışlarının ise Şanlıurfa’da yaz mevsimi normallerine göre %80 azaldığı vurgulanmıştır. Mevsimsellik indeksine göre yapılan değerlendirmede de Şanlıurfa düzensiz yağış rejimi gösteren iller arasında yer almıştır. Şanlıurfa ili aynı zamanda yağışlı gün sayısı istatistikleri incelendiğinde Türkiye ortalamasının (111 gün) altında kalan illerden biri olmuştur (MGM, 2024). Tüm bu veriler Şanlıurfa ilinin suyun verimli kullanımını esas alan kurakçıl peyzaj yaklaşımına duyduğu ihtiyacı ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda bu çalışma, Şanlıurfa ili Haliliye İlçesi’nde bulunan kentsel açık ve yeşil alanların kurakçıl peyzaj yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmesi amacıyla yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Bu araştırmanın temel materyalini, Şanlıurfa ili Haliliye ilçesindeki kentsel açık ve yeşil alanlarda yer alan bitki taksonları oluşturmaktadır. Buna ek olarak, araştırmanın ana konusunu teşkil eden kurakçıl peyzaja yönelik literatür de çalışma kapsamında materyal olarak değerlendirilmiştir.

Şanlıurfa Haliliye merkez ilçesinde genel olarak semi-arid iklim özelliği ağır basmaktadır. İlin Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan ve ölçüm periyodu 1929-2023 olan resmi iklim istatistikleri incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklığının 18.5 °C, ortalama en yüksek sıcaklığının 24.5 °C, ortalama en düşük sıcaklığının 12.7 °C, ortalama güneşlenme süresinin 8.1 saat, ortalama yağışlı gün sayısının 73.1 gün, aylık toplam yağış miktarı ortalamasının ise yıllık olarak 460.4 mm. olduğu görülmektedir (MGM, 2024).

Çalışmanın ilk aşamasında Şanlıurfa ili Haliliye ilçesinde kurakçıl peyzaj açısından incelenen açık ve yeşil alanlar belirlenmiştir. Bu alanlar: 1- Cumhuriyet Parkı, 2- GAP Vadisi, 3- Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi, 4- Harran Üniversitesi Yenişehir Yerleşkesi, 5- Kasaptaşı Parkı ve 6- Turgut Özal Parkı’dır. Şekil 1’de çalışma alanlarının isimleri ve konumları verilmiştir. İncelemeye konu olan bu alanlar, ilçenin en büyük, en yoğun kullanılan ve bitki çeşitliliği açısından en zengin noktaları olmaları nedeniyle tercih edilmiştir. Bu alanlardaki tüm ağaç, ağaççık, çalı, yer örtücü ile sarılıcı/tırmanıcı bitkiler saptandıktan sonra, söz konusu bitkiler doğallık durumları, familyaları ve su istekleri bakımından incelenmiştir. Bu incelemeler gerçekleştirilirken, belirtilen kıstaslar gözetilmiştir. Bitkiler doğallık durumlarına göre; yarı

doğal (YD), doğal (D) ve egzotik (E) olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmıştır. Bitki taksonlarının su gereksinimleri ise beş ayrı kategoride (az/az-orta/orta/orta-çok/çok) sınıflandırılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanlarının konumu. (URL-1)

Figure 1. Location of study areas.

BULGULAR

Bu çalışma kapsamında incelenen kentsel açık ve yeşil alanlarda tespit edilen bitkiler ile bu bitkilerin familyaları, doğallık durumları, su gereksinimleri ve bulundukları bölgeler Tablo 1’de sunulmuştur. Bitkilerin bu özellikleri elde edilirken şu kaynaklardan yararlanılmıştır: Williams, 2013; Bainbridge, 2015; Penick, 2016; Akkemik, 2018; Çöp & Akat, 2021; Çorbacı & Ekren, 2022; Çorbacı & Özyavuz, 2024; Kamer Aksoy vd., 2022; Gür & Kahraman, 2024.

Tablo 1. Çalışma sahaslarında tespit edilen bitkiler ve özellikleri

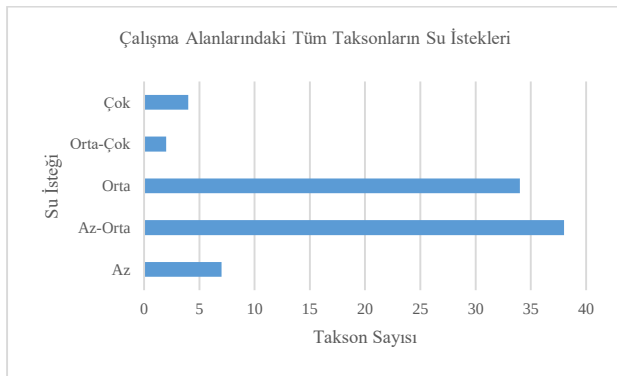
Table 1. Plants identified in the study areas and their characteristics.

Familyası	Latince Adı	Doğal/ Egzotik	Su İsteği	Bulunduğu Bölge
Adoxaceae	<i>Sambucus nigra</i> L.	D	Az-Orta	3,6
	<i>Viburnum tinus</i> L.	D	Orta	4
Agavaceae	<i>Yucca filamentosa</i> L.	E	Az-Orta	3,4,5,6
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	E	Az-Orta	4
Apocynaceae	<i>Nerium oleander</i> L.	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
Arecaceae	<i>Phoenix canariensis</i> Hort.	E	Az-Orta	4
	<i>Washingtonia robusta</i> H. Wendl.	E	Orta	1,2,3,4,5,6
Berberidaceae	<i>Berberis thunbergii</i> DC.	E	Az-Orta	1,2,3,5,6
	<i>Nandina domestica</i> Thunb.	E	Az-Orta	4
	<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.	E	Az-Orta	5
Bignoniaceae	<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	E	Orta	1,2,3,5,6
Buddleiaceae	<i>Buddleja davidii</i> Franch.	E	Orta	5
Buxaceae	<i>Buxus sempervirens</i> L.	D	Orta	4
Cannabaceae	<i>Celtis tournefortii</i> Lam.	D	Az	4
Caprifoliaceae	<i>Lonicera tatarica</i> L.	E	Orta	3,5,6
Celastraceae	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb. "Variegata"	E	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Euonymus japonicus</i> Thunb. "Green Rocket"	E	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Cupressocypariss leylandii</i> (A.B.Jacks. & Dallim.) Dallim.	E	Az-Orta	3
	<i>Cupressus arizonica</i> Greene	E	Az	3,5,6
	<i>Cupressus macrocarpa</i> Hartw.	E	Az-Orta	3,5,6
	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Cupressus sempervirens</i> L. "Pyramidalis"	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
Cupressaceae	<i>Juniperus sabina</i> L.	D	Az-Orta	3,5,6
	<i>Juniperus excelsa</i> M.Bieb.	D	Az-Orta	1,2,3,5
	<i>Thuja orientalis</i> (L.)	E	Orta	4
	<i>Thuja orientalis</i> (L.) Franco "Pyramidalis"	E	Orta	1,2,3,5,6
	<i>Thuja plicata</i> Donn ex D.Don	E	Orta	3,4,5
Cycadaceae	<i>Cycas revoluta</i> Thunb.	E	Orta	4,5,6
Cyperaceae	<i>Cyperus alternifolius</i> L.	E	Orta	3
Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.	E	Az-Orta	3,5
	<i>Ceratonia siliqua</i> L.	D	Az	5
	<i>Cercis siliquastrum</i> L.	D	Orta	1,2,3,5
Fabaceae	<i>Robinia hispida</i> L.	E	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	YD	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Robinia pseudoacacia</i> var. <i>umbraculifera</i> D.C.	YD	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Sophora japonica</i> L.	E	Az-Orta	3
Iridaceae	<i>Iris x germanica</i> L.	E	Orta	4
Lamiaceae	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	D	Az-Orta	1,2,3,5,6
	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	D	Orta	1,2,3,5,6
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
Lythraceae	<i>Lagerstroemia indica</i> L.	E	Az-Orta	1,2,3,5,6
	<i>Punica granatum</i> L.	D	Az	1,2,3,4
Magnoliaceae	<i>Magnolia grandiflora</i> L.	E	Orta	5,6
Malvaceae	<i>Hibiscus syriacus</i> L.	E	Az-Orta	3

Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	E	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Ficus carica</i> L.	D	Orta	1,2,3,5
Moraceae	<i>Morus alba</i> L.	E	Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Morus nigra</i> L. 'Pendula'	E	Orta	1,2,3,5,6
Myrtaceae	<i>Callistemon citrinus</i> (Curtis) Skeels.	E	Az-Orta	3,5,6
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehn.	E	Çok	4,5
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	E	Çok	4
	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	D	Orta	1,2,3,4
Oleaceae	<i>Forsythia x intermedia</i> Zabel.	E	Az-Orta	4
	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb.	E	Az-Orta	4
	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	E	Az-Orta	1,2,3,5,6
	<i>Olea europaea</i> L.	D	Orta	1,2,3,5,6
Onagraceae	<i>Gaura lindheimeri</i> Engelm. & A.Gray	E	Az	4
Paulowniaceae	<i>Paulownia tomentosa</i> Steud.	E	Orta	3,5,6
	<i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carriere	E	Orta	3,4,5,6
	<i>Cedrus libani</i> A.Rich.	D	Az-Orta	3
Pinaceae	<i>Pinus brutia</i> Ten.	D	Az	1,2,3
	<i>Pinus nigra</i> Lamb.	D	Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Pinus pinea</i> L.	D	Orta	3
Pittosporaceae	<i>Pittosporum tobira</i> Thunb. Ait.	E	Az-Orta	3,4,5,6
Platanaceae	<i>Platanus orientalis</i> L.	D	Orta-Çok	1,2,3,4,5,6
	<i>Cotoneaster horizontalis</i> Decne.	E	Az-Orta	1,2,3,4,5
	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	E	Az-Orta	4
Rosaceae	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	E	Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Photinia x fraseri</i> Dress.	E	Orta	3,5,6
	<i>Pyracantha coccinea</i> M.Roem.	D	Az-Orta	1,2,3,4,5,6
	<i>Rosa laxa</i> Retz.	E	Orta	1,3,4,5,6
	<i>Spiraea japonica</i> L.f.	E	Orta	4,5,6
	<i>Spiraea x vanhouttei</i> (Briot) Zabel.	E	Orta	4,5,6
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i> L.	D	Az-Orta	3,4
	<i>Populus tremula</i> L.	D	Orta-Çok	4
Salicaceae	<i>Salix babylonica</i> L.	E	Çok	1,2,3,5,6
	<i>Salix matsudana</i> L.	D	Çok	3,6
Sapindaceae	<i>Acer negundo</i> L.	E	Orta	3,4,5,6
	<i>Koeleria paniculata</i> Laxm.	E	Orta	4,5
Simoribaceae	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	YD	Az	1,2,3,4
Tamaricaceae	<i>Tamarix parviflora</i> DC.	D	Az-Orta	3
Tiliaceae	<i>Tilia tomentosa</i> Moench.	D	Orta	4
Ulmaceae	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	D	Orta	3
Vitaceae	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> L.	E	Orta	1,2,3,4,5,6

Çalışma sahalarında yürütülen incelemeler sonucunda, toplam 85 farklı bitki taksonu tespit edilmiş; bu taksonlardan 34'ünün (%40) doğal (Doğal:31, Yarı Doğal:3), 51'inin (%60) ise egzotik olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanlarında en çok görülen üç familya ise sırasıyla; Cupressaceae (10 takson (%11,76)), Rosaceae (8 takson, (%9,41)) ve Fabaceae'dir (7 takson, (%8,23)).

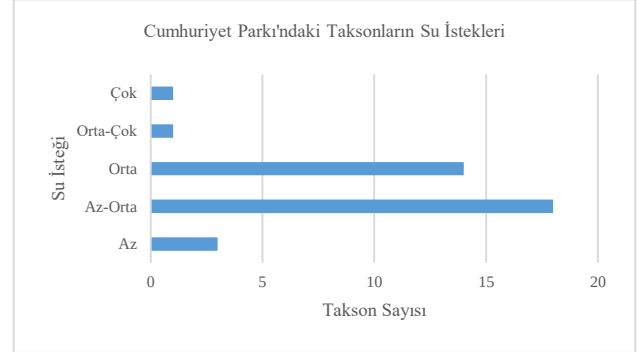
Çalışma alanlarında tespit edilen tüm bitkilerin su istekleri değerlendirildiğinde 7 (%8) taksonun az, 38 (%45) taksonun az-orta, 34 (%40) taksonun orta, 2 (%2) taksonun orta-çok, 4 (%5) taksonun ise çok su isteği olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2).



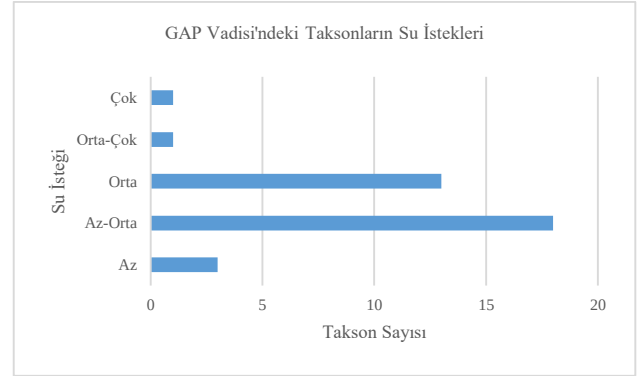
Şekil 2. Çalışma alanlarında tespit edilen tüm taksonların su istekleri
Figure 2. Water requirements of all taxa identified in the study areas.

Çalışma kapsamında her bir çalışma alanı için tespit edilen taksonların su istekleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bu kapsamda Cumhuriyet Parkı'nda (1 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 37 bitkinin su isteği incelendiğinde 3 (%8) taksonun az, 18 (%48) taksonun az-orta, 14 (%38) taksonun orta, 1 (%3) taksonun orta-çok, 1 (%3) taksonun ise çok su isteği olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

GAP Vadisi'nde (2 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 36 bitkinin su isteği incelendiğinde 3 (%8) taksonun az, 18 (%50) taksonun az-orta, 13 (%36) taksonun orta, 1 (%3) taksonun orta-çok, 1 (%3) taksonun ise çok su isteği olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

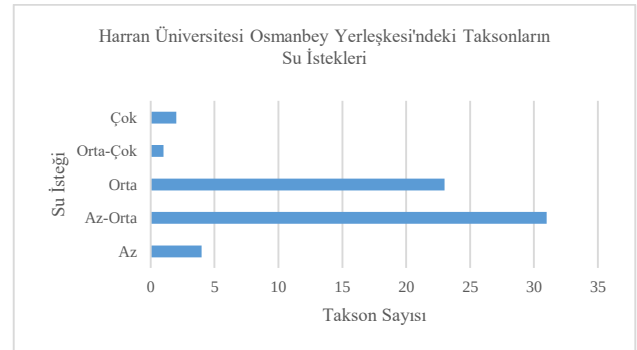


Şekil 3. Cumhuriyet Parkı'nda tespit edilen taksonların su istekleri
Figure 3. Water requirements of taxa identified in Cumhuriyet Park.



Şekil 4. GAP Vadisi'nde tespit edilen taksonların su istekleri.
Figure 4. Water requirements of taxa identified in the GAP Valley.

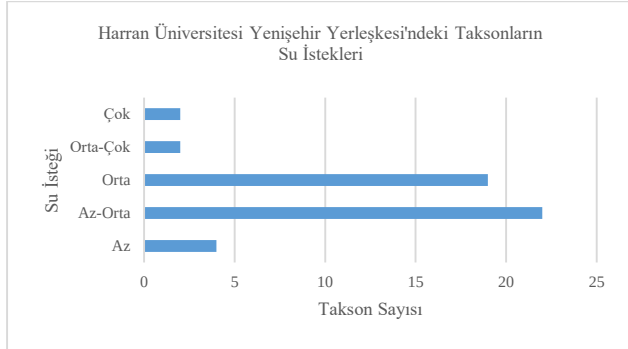
Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi'nde (3 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 61 bitkinin su isteği incelendiğinde 4 (%6) taksonun az, 31 (%51) taksonun az-orta, 23 (%38) taksonun orta, 1 (%2) taksonun orta-çok, 2 (%3) taksonun ise çok su isteği olduğu belirlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi'nde tespit edilen taksonların su istekleri.
Figure 5. Water requirements of taxa identified in Harran University Osmanbey Campus.

Harran Üniversitesi Yenişehir Yerleşkesi'nde (4 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 49 bitkinin su isteği

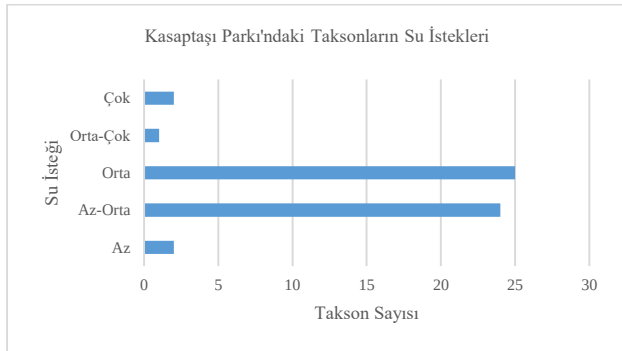
incelendiğinde 4 (%8) taksonun az, 22 (%45) taksonun az-orta, 19 (%39) taksonun orta, 2 (%4) taksonun orta-çok, 2 (%4) taksonun ise çok su isteği olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Harran Üniversitesi Yenişehir Yerleşkesi'nde tespit edilen taksonların su istekleri.

Figure 6. Water requirements of taxa identified in Harran University Yenişehir Campus.

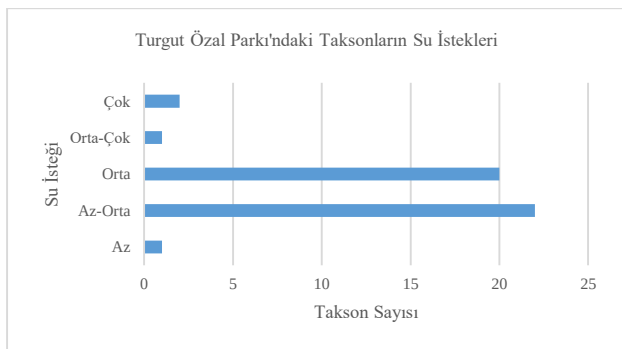
Kasaptaşı Parkı'nda (5 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 54 bitkinin su isteği incelendiğinde 2 (%4) taksonun az, 24 (%44) taksonun az-orta, 25 (%46) taksonun orta, 1 (%2) taksonun orta-çok, 2 (%4) taksonun ise çok su isteği olduğu belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Kasaptaşı Parkı'nda tespit edilen taksonların su istekleri.

Figure 7. Water requirements of taxa identified in Kasaptaşı Park.

Turgut Özal Parkı'nda (6 numaralı çalışma alanı) tespit edilen 46 bitkinin su isteği incelendiğinde 1 (%2) taksonun az, 22 (%48) taksonun az-orta, 20 (%44) taksonun orta, 1 (%2) taksonun orta-çok, 2 (%4) taksonun ise çok su isteği olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Turgut Özal Parkı'nda tespit edilen taksonların su istekleri.

Figure 8. Water requirements of taxa identified in Turgut Özal Park.

Çalışma sahalarında belirlenen doğal ve egzotik taksonların su gereksinimleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde doğal taksonların içerisinde en fazla (15 takson, (%44)) az-orta su isteği olan bitkiler yer alırken, egzotik taksonlar arasında ise en fazla (23 takson, (%45)) az-orta ve orta su isteği olan bitkiler bulunmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışma sahalarında belirlenen doğal ve egzotik taksonların su gereksinimleri.

Table 2. Water requirements of natural and exotic taxa identified in the study areas.

Su İsteği Özelliği	Doğal Taksonlar	Egzotik Taksonlar
Az	5 (%15)	2 (%4)
Az-Orta	15 (%44)	23 (%45)
Orta	11 (%32)	23 (%45)
Orta-Çok	2 (%6)	0
Çok	1 (%3)	3 (%6)
Toplam	34	51

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Şanlıurfa ili Haliliye ilçesindeki kentsel açık ve yeşil alanların kurakçıl peyzaj (Xeriscape) yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmesini amaçlamıştır. Araştırmada tespit edilen 85 bitki taksonunun %40'ının doğal, %60'ının egzotik taksonlardan oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum, çalışma alanlarında egzotik bitkilerin doğal bitkilerden daha fazla kullanıldığını göstermekte ve sürdürülebilir peyzaj yönetimi açısından önemli bir soruna işaret etmektedir. Doğal bitkiler, yerel iklim ve su koşullarına adaptasyon sağlama kapasiteleri nedeniyle sürdürülebilir peyzaj tasarımlarında öncelikli olarak değerlendirilmelidir.

Bulgular, çalışma alanlarında kullanılan bitkilerin su istekleri açısından önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin, tespit edilen bitkilerin %45'inin az-orta, %40'ının ise orta su ihtiyacına sahip olduğu saptanmıştır. Bu durum, mevcut peyzaj tasarımlarında su kaynaklarının verimli kullanımını destekleyen düşük su tüketimli bitki taksonlarının tercih edilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Cumhuriyet Parkı ve GAP Vadisi gibi alanlarda az ve az-orta su tüketimli bitkilerin ağırlıklı olarak kullanıldığı görülse de, genel bitki kompozisyonu geleneksel peyzaj yaklaşımlarının etkisinde kalmış ve bu nedenle su tüketiminin yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Elde edilen bulgular, literatürde yer alan benzer çalışmalarla kıyaslandığında, kurakçıl peyzaj tasarımının Türkiye'de çeşitli kentlerde farklı seviyelerde uygulandığını ve su kaynaklarının etkin kullanımına yönelik stratejilerin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Şanlıurfa kent dokusunda yürütülen bu çalışmaya paralel olarak, Isparta'da yapılan bir araştırmada, çim alanların yoğun kullanımı ve egzotik bitki türlerinin baskınlığı nedeniyle su tüketiminin yüksek olduğu belirlenmiştir (Yazıcı vd., 2014). Benzer şekilde, Ankara Altınpark örneğinde yapılan çalışmada, tespit edilen 180

bitki taksonundan %61'inin egzotik türlerden oluştuğu ve bunların su tüketiminin yüksek olduğu belirlenmiştir (Çorbacı & Ekren, 2022). Bu durum, Şanlıurfa'daki kentsel açık ve yeşil alanlarda doğal türlerin kullanımının artırılması gerektiğini desteklemektedir.

Literatürde yer alan diğer çalışmalar da kurakçıl peyzaj yaklaşımının uygulanabilirliği konusunda benzer sonuçlar sunmaktadır. Örneğin, Çankırı'da kent parklarında yapılan incelemelerde, bitki kompozisyonunun çoğunlukla orta su ihtiyacına sahip türlerden oluştuğu, ancak doğal bitkilerin daha fazla tercih edilmesi gerektiği önerilmiştir (Kamer Aksoy vd., 2022). Şanlıurfa'daki mevcut peyzaj uygulamalarında da benzer bir durum gözlemlenmiş olup, geleneksel peyzaj anlayışının su tüketimini artırdığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, Tekirdağ ve Muğla'da yapılan çalışmalar, kurakçıl peyzaj uygulamalarının yalnızca bitki seçimiyle sınırlı kalmaması gerektiğini ve su yönetimi stratejilerinin de entegre edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Çöp & Akat, 2021; Hersek & Korkut, 2021). Bu bağlamda, Şanlıurfa'daki mevcut sulama yöntemlerinin değerlendirilmesi ve etkin damla sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Şanlıurfa, Türkiye'nin en düşük yağış alan bölgelerinden biri olarak, kurakçıl peyzaj yaklaşımının hayata geçirilmesi için kritik bir alan teşkil etmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre, Şanlıurfa'da yağış miktarları uzun dönem ortalamalarına göre ciddi bir azalma göstermiştir. Bu veriler, iklim değişikliğinin etkileriyle birleştiğinde, mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için daha yenilikçi peyzaj stratejilerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Sonuç olarak, Şanlıurfa ili Haliliye ilçesindeki mevcut peyzaj tasarımlarında, kurakçıl peyzaj prensiplerinin yeterince uygulanmadığı ve bu durumun su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yarattığı görülmektedir. Benzer çalışmalardan elde edilen bulgular, kurakçıl peyzaj yaklaşımının sürdürülebilir şehir planlaması açısından önemli bir araç olduğunu ve bu stratejilerin uygulanabilirliğinin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

ÖNERİLER

Araştırma bulguları, kurakçıl peyzaj yaklaşımının temel ilkeleri doğrultusunda bazı öneriler geliştirilmesini mümkün kılmıştır. Az su tüketen doğal bitkilerin peyzaj düzenlemelerinde daha fazla kullanılması, geçirimsiz yüzeylerin azaltılması ve damla sulama gibi etkili sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması, Şanlıurfa gibi yarı kurak bölgelerde su kaynaklarının korunması için önemli stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

Kurakçıl peyzaj yaklaşımının etkin bir şekilde uygulanabilmesi için malçlama, bakım ve budama

süreçlerine özel önem verilmelidir. Malçlama, toprak yüzeyinin organik veya inorganik malzemelerle kaplanarak nem kaybının azaltılmasını, toprak sıcaklığının dengelenmesini ve yabancı ot kontrolünü sağlar. Özellikle organik malç kullanımı, toprak mikrobiyal aktivitesini destekleyerek uzun vadeli toprak verimliliğini artırır. Bununla birlikte, kurakçıl peyzajda bakım faaliyetleri minimum düzeyde tutulmalı ve bitkilerin doğal büyüme döngülerine uyum sağlayacak şekilde düzenlenmelidir. Düşük bakım gereksinimine sahip bitkilerin seçimi, iş gücü ve kaynak kullanımında tasarruf sağlayarak peyzaj alanlarının sürdürülebilirliğini artırır. Ayrıca, budama işlemlerinin stratejik olarak planlanması, bitkilerin su kaybını minimize etmesini sağlayarak kurak koşullara adaptasyonunu destekler. Aşırı budamadan kaçınılmalı, özellikle kuraklık stresine dayanıklı türlerin doğal formları korunmalıdır. Bu doğrultuda, Şanlıurfa'daki kentsel açık ve yeşil alanlarda malçlama tekniklerinin yaygınlaştırılması, bakım stratejilerinin optimize edilmesi ve bilinçli budama uygulamalarının teşvik edilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı açısından kritik öneme sahiptir.

Şanlıurfa'nın iklimine uyum sağlayabilecek ve su ihtiyacı düşük olan bazı bitki taksonları, yerel ekosistemle uyumlu ve sürdürülebilir peyzaj yönetimi için önerilmektedir. Bu bağlamda, *Capparis spinosa* L., *Celtis tournefortii* Lam., *Ceratonia siliqua* L., *Euphorbia rigida* M.Bieb., *Laurus nobilis* L., *Nerium oleander* L., *Quercus coccifera* L. ve *Rosmarinus officinalis* L. gibi doğal taksonlar, düşük su gereksinimleri ve dayanıklılıkları nedeniyle peyzaj düzenlemelerinde kullanılabilir. Bu taksonlar, hem estetik hem de ekolojik faydalar sunarak kent ekosisteminin sürdürülebilir yönetimine katkıda bulunacaktır.

Bu çalışma, yalnızca Şanlıurfa için değil, benzer yarı kurak ve kurak bölgelerde de sürdürülebilir peyzaj yönetimi ve planlama stratejilerine ışık tutabilecek bir model sunmaktadır. Ancak, elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi için farklı coğrafi bölgelerde benzer kapsamda çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, gelecekte yapılacak çalışmalarda, kurakçıl peyzaj uygulamalarının ekonomik boyutlarının ve kullanıcı memnuniyeti üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, bu yaklaşımların uygulanabilirliğini artırabilir.

KAYNAKLAR

- Akkemik, Ü. (2018).** *Türkiye'nin doğal-egzotik ağaç ve çalıları*. I. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, 736, Ankara.
- Ayva, C., Dutucu, A.A. & Ustaoglu, B. (2023).** İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi ve uyum önerileri: Kirazdere havzası örneği. *Fırat*

- Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 33(1), 47-64.
- Bainbridge, D.A. (2015).** *Gardening with less water*. Storey Publishing, 127, Massachusetts.
- Barış, M.E. (2007).** Sarıya bezenen kentlerimizi kimler ve nasıl yeniden yeşertebilir. Erişim Tarihi: 20.07.2024.
http://www.peyzajmimoda.org.tr/genel/bizden_d_etay.php?kod=1173&tipi=2&sube=0.
- Bayramoğlu, E. (2016).** Sürdürülebilir peyzaj düzenleme yaklaşımı: KTÜ Kanuni Kampüsü'nün xeriscape açısından değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(2), 119-127.
- Çalışkan, H. & Öztürk, S. (2019).** Kentleşme gelişiminin ekonomik büyüme üzerine etkisi: Türkiye örneği. *İğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17, 677-694.
- Çetin, N. & Mansuroğlu, S. (2018).** Akdeniz koşullarında kurakçıl peyzaj düzenlemelerinde kullanılabilecek bitki türlerinin belirlenmesi: Antalya/Konyaaltı örneği. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 55(1), 11-18. DOI: 10.20289/zfdergi.390690
- Çorbacı, Ö. L. & Bayramoğlu, E. (2021).** Drought tolerant landscape design approach example of RTE Campus. *Fresenius Environmental Bulletin*, 30(11), 11948-11955.
- Çorbacı, Ö. L. & Ekren, E. (2022).** Kentsel açık yeşil alanların kurakçıl peyzaj açısından değerlendirilmesi: Ankara Altınpark örneği. *Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1), 1-11. DOI: 10.56629/paud.1137410
- Çorbacı, Ö. L. & Özyavuz, M. (2024).** Kentsel açık yeşil alanlarda kurakçıl peyzaj (Xeriscape) çalışmaları, İçinde: *Kentsel Yeşil Alanların Sürdürülebilir Yönetimi* İnce, K. (ed.), s. 109-171. İksad Publications, Ankara.
- Çorbacı, Ö.L., Özyavuz, M. & Yazgan, M.E. (2011).** Peyzaj mimarlığında suyun akıllı kullanımı: Xeriscape. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1, 25-31.
- Çöp, S. & Akat, H. (2021).** Kurakçıl peyzaj çalışmalarında bitkisel uygulamalar: Muğla-Sarıgerme halk plajı örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(2), 263-277. DOI: 10.29048/makufebd.934101
- Ercan Oğuztürk, G. & Bayramoğlu, E. (2020).** Kurakçıl peyzaj açısından Rize Sahil Parkının incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, 10(21), 13-24. DOI: 10.16950/iujad.733326
- Gür, N., & Kahraman, Ö. (2024).** Şanlıurfa kent dokusunda önemli yere sahip bazı tarihi ve kültürel alanların kurakçıl peyzaj açısından değerlendirilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 14(1), 447-457. DOI: 10.21597/jist.1296301
- Hersek, G. & Korkut, A. (2021).** Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi yerleşkesinin kurakçıl peyzaj tasarımı bağlamında değerlendirilmesi. *Artium*, 9(1), 1-10. DOI: 51664/artium.732611
- Kamer Aksoy, O., Akdoğan, S. & Sünbül, V. (2022).** Çankırı kenti örneğinde kent parklarının kurakçıl peyzaj açısından irdelenmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 6(1), 327-338. DOI: 10.32328/turkjforsci.1079202
- Karakaş, T. (2017).** Hızlı kentsel değişimin doğala yakın habitatlara etkisinin değerlendirilmesi: Ankara ili Bağlıca ve Yaprıcak mahallesi örneği. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 4(1), 77-89. DOI: 10.17568/ogmoad.321772
- Karaman, S. & Gökarp, Z. (2010).** Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin su kaynakları üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, 3(1), 59-66.
- Kayan, A. & Mardinli, İ. (2020).** Kentleşme-sosyal değişim ve ekonomik gelişim ilişkisinin değerlendirilmesi. *GÜ İslahiye İİBF Uluslararası E-Dergi*, 4(4), 256-271.
- Korkut, A., Gültürk, P. & Üstün Topal, T. (2016).** Kentsel peyzaj yapılarında zemin geçirimsizliği üzerine bir araştırma: Tekirdağ örneği. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 412-422.
- Küçükali, U.F. (2013).** Suyun stratejik yönetiminde peyzaj planlama'nın önemi. *Planlama*, 23(3), 105-108.
- MGM (2024).** Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023 Yılı Yağış Değerlendirmesi Raporu. Erişim Tarihi: 15.05.2024.
<https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/yagis-degerlendirme/2023yagisdegerlendirmesi.pdf>.
- Partigöç, N.S. & Soğancı, S. (2019).** Küresel iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonucu: kuraklık. *Resilience*, 3(2), 287-299. DOI: 10.32569/resilience.619219
- Penick, P. (2016).** *The water-saving garden: how to grow a gorgeous garden with a lot less water*. Ten Speed Press, 246, New York.
- Pouya, S., Selçuk, E.B. & Bayramoğlu, E. (2020).** İnönü Üniversitesi (Malatya-Türkiye) yerleşkesinde bulunan bitkilerin kurakçıl peyzaj ilkeleri açısından irdelenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8(2), 107-117. DOI: 10.33409/tbbbd.755835

- Sağlam, S. (2006).** Türkiye'de iç göç olgusu ve kentleşme. *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları (HÜTAD)*, 5, 33-44.
- Satır Reyhan, A. & Reyhan, H. (2016).** Küresel ısınmanın nedenleri, sonuçları, çözümleri üzerine yeni değerlendirmeler. *Memleket Siyaset Yönetim*, 11(26), 1-24.
- Sezen, İ., Esringü, A. & Yardımcı, K. S. (2018).** Water efficient use for sustainability of water resources in urban areas: xeriscape. *Kent Akademisi*, 11(4), 474-485.
- Şahin, G. & Gökdemir, L. (2019).** Kentleşmenin çevre kalitesi üzerindeki etkisi: Türkiye olgu örneği. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 7(18), 187-213. DOI: [10.33692/avrasyad.595488](https://doi.org/10.33692/avrasyad.595488)
- Taşcıoğlu, S., Günaydın, A.S. & Yücekaya, M. (2019).** Kampüs alanlarında xeriscape yaklaşımı: Kilis 7 Aralık Üniversitesi kampüsü. İçinde: *Mimarlık Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler* Kaya L.G. (ed.), s. 47-60, Gece Akademi, Ankara.
- Türkeş, M. (2012).** Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32. DOI: [10.1501/Csaum_0000000063](https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063)
- URL-1. Google Earth (2024).** <https://earth.google.com/web/>, Erişim Tarihi: 20.07.2024.
- Uygur Erdoğan, B. (2022).** İçme suyu havzalarında kentleşme baskısı: Büyükçekmece gölü havzası'nda arazi kullanım değişiminin zamansal analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(2), 365-375.
- Ünal Çilek, M. (2022).** Kurakçıl peyzaj tasarımının yedi basamağı: Arizona Eyalet Üniversitesi kampüsü. *ArtGRID*, 4(2), 222-239. DOI: [10.57165/artgrid.1202067](https://doi.org/10.57165/artgrid.1202067)
- Williams, S. (2013).** *Creating the prairie xeriscape*. Coteau Books, 336, Canada.
- Yazıcı N., Dönmez Ş. & Kuş Şahin C. (2014).** Isparta kenti peyzaj düzenlemelerinde kullanılan bazı bitkilerin kurakçıl peyzaj tasarımı açısından değerlendirilmesi. *Journal of Forestry Faculty of Kastamonu University*, 14(2), 199-208.



Derleme: Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları Üretimi ve Çevresel Etkileri

Gonca YAŞAR^{1*} Burcu ONAT¹

¹*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34315, İstanbul, Türkiye*

Geliş Tarihi: 24.01.2025

Kabul Tarihi: 18.02.2025

Basım Tarihi: 25.03.2025

Atıf yapmak için: Yaşar, G. & Onat, B. (2024). Derleme: Sürdürülebilir Havacılık Yakıtları Üretimi ve Çevresel Etkileri. *Anadolu Çev. Hayv. Bil. Dergisi*, 10(2), 182-190. <https://doi.org/10.35229/jaes.1626339>

How to cite: Yaşar, G. & Onat, B. (2024). Review: Sustainable Aviation Fuels Production and Environmental Impacts. *J. Anatoli. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 182-190. <https://doi.org/10.35229/jaes.1626339>

*ID: <https://orcid.org/0000-0002-9623-5220>

ID: <https://orcid.org/0000-0002-3036-2809>

***Sorumlu yazarın:**

Gonca YAŞAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Çevre
Mühendisliği Bölümü, 34315, İstanbul, Türkiye
✉: gonca.yasar@ogr.iuc.edu.tr

Öz: Yakıttan kaynaklanan sera gazı emisyonlarına ilişkin düzenlemelerle birlikte, havacılık sektörünün küresel karbon salınımına katkısı %2,5' tur. En büyük katkısı yapan ticari uçuşlardan kaynaklanan karbon salınımının azaltılmasına yönelik çalışmalar da artış göstermektedir. Sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) havacılık sektörünün karbon emisyonlarını azaltma hedeflerine önemli bir katkı sunmaktadır. Kullanımı onaylanan SAF'lar için uçaklarda herhangi bir değişikliğe gerek duyulmaması önemli bir avantaj sağlamaktadır. SAF üretiminde hammadde kaynağı olarak özellikle atıkların tercih edilmesi potansiyel çevresel etkilerin değerli enerji kaynaklarına dönüştürülmesiyle döngüsel ekonomiye teşvik ederek atıkların azaltılmasını da sağlamaktadır. Ticari uçuşlarda halihazırda SAF kullanımı sınırlı olsa da uzun uçuşlardaki dekarbonizasyon potansiyeli yüksektir. Bununla birlikte hammadde kaynaklarının sınırlayıcı etkisi de göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Yaşam döngü analizi, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca, hammadde elde etme, üretim ve kullanım aşamalarından atık yönetimine kadar, potansiyel çevresel etkileri ve kullanılan kaynakları değerlendirmek için bir araç olarak tanımlanır. Yaşam döngü analizinin SAF'a uygulanması fosil yakıtlara kıyasla sera gazı azaltım potansiyelinin somutlaştırılması bakımından önemli bir rol oynamaktadır. Bu inceleme makalesinde havacılığın karbon emisyonlarına etkisi, yenilenebilir enerji alternatifleri olarak SAF türleri, hammadde kaynakları, dönüşüm teknolojileri ve bu yakıt türlerinin yaşam döngü analizleriyle ilgili çalışmalardan bahsedilmiş aynı zamanda Türkiye'deki SAF talimatlarıyla birlikte SAF üretimini etkileyen diğer politikalara değinilmiştir.

Anahtar kelimeler: SAF üretimi, sürdürülebilir havacılık yakıtı, yaşam döngü analizi.

Review: Sustainable Aviation Fuels Production and Environmental Impacts

Abstract: The contribution of fuel-related greenhouse gas emissions to global carbon emissions from the aviation sector is 2.5%. The contribution of fuel-related greenhouse gas emissions to global carbon emissions from the aviation sector is 2.5%. The major emission contribution comes from commercial flights. Efforts to reduce carbon emissions are increased. Sustainable aviation fuel (SAF) makes a significant contribution to the aviation sector's carbon emission reduction targets. Approved SAFs do not require any modifications to the aircraft, which is a significant advantage. Preferring waste as a feedstock source for SAF production ensures that the potential environmental impacts of waste are converted into valuable energy resources and reduces waste by promoting a circular economy. While the use of SAF is currently limited on commercial flights, the potential for decarbonization on extended flights is high. However, the limited availability of feedstocks must also be taken considered. Life cycle assessment is defined as a methodology for assessing the potential environmental impacts of a product's life cycle, including raw material procurement, utilization phases and waste management. Life cycle assessment of SAFs plays an important role in reducing greenhouse gas (GHG) emissions compared to fossil fuels. This review paper aims to examine that aviation carbon emissions and SAFs as a renewable energy alternative, feedstock sources, conversion pathways and life cycle assessments of sustainable aviation fuels. In addition, SAF regulations in Turkey and other policies affecting SAF production are mentioned.

Keywords: Life cycle assessment, SAF production, sustainable aviation fuel.

responding author's:

Gonca YAŞAR

İstanbul University-Cerrahpaşa, Environmental
Engineering Department, 34315, İstanbul, Türkiye
✉: gonca.yasar@ogr.iuc.edu.tr

GİRİŞ

Ekonomik küreselleşmenin gelişmesi, bilim ve teknolojinin ilerlemesiyle birlikte hava taşımacılığı; ticari ilişkiler ve kişiler arası iletişimde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle jet yakıtı da benzin ve dizelin ardından en önemli ulaşım yakıtı haline gelmiştir. Hava taşımacılığına yönelik artan talep, havacılık yakıtlarına olan küresel talebin hızla büyümesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır (Yang vd., 2022).

Geleneksel havacılık yakıtı yenilenemeyen bir enerji kaynağı olan petrolün damıtılmasıyla elde edilmektedir. Fosil yakıt rezervlerinin azalması, sanayileşme ve modernleşmeye bağlı olarak artan enerji ihtiyacı ve küresel ısınma konusunda artan farkındalıkla birlikte, petrol bazlı yakıtlara alternatiflerin aranmasına yönelik artan bir itici güç oluşturmaktadır. Motor tasarımı gibi temel konularda değişiklik yapılması önemli bir çaba ve yatırım gerektirmektedir. Bu nedenle yapılan araştırmaların odağı esas olarak fosil bazlı yakıtlar yerine ikinci ve üçüncü nesil hammaddelerle üretilmiş biyoyakıtlar gibi daha sürdürülebilir, karbon-nötr sıvı yakıtlar olmuştur. Bu yumuşak geçiş CO₂ emisyonlarının etkili bir şekilde azaltılması konusunda öncelikli tercih sebebi olabilir (Farooqui vd., 2022).

Açıklanan istatistiklere göre, havacılık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının küresel emisyonların yaklaşık %2'sini oluşturduğu tespit edilmiştir (Wang vd., 2024). Havacılık sektöründeki büyümeye bağlı olarak CO₂ üretimindeki artışın 2035 yılına kadar 1,1-1,5 milyar ton olması beklenmektedir. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO), sivil havacılık sektörü için politikalar, standartlar ve uygulamalar geliştirmek üzere 191 üye devlet ve endüstri gruplarıyla birlikte çalışarak havacılık sektörü için sera gazı emisyonları konusunu ele alma rolüne öncülük eden bir Birleşmiş Milletler kuruluşudur. ICAO, 2020'den sonra uluslararası sivil havacılığın karbon-nötr büyümesini kolaylaştırmak ve karbon-nötr emisyon hedefine ulaşmak için Uluslararası Havacılık için Karbon Dengeleme ve Azaltma Programı'nı (CORSIA) uygulamaya koymuştur. CORSIA kapsamında operasyonel ve teknolojik verimliliğin artırılması,

alternatif havacılık yakıtlarının benimsenmesi gibi sera gazı azaltım stratejilerinin yanı sıra, uluslararası havacılık emisyonlarındaki artışı dengelemeye yönelik bir önlem sistemi belirlenmiştir. 2050'ye kadar planlanan net sıfır karbon hedefini karşılamak için, karbon azaltımının büyük bir kısmının biyokütle, atıklar, bitkisel yağlar vb. gibi petrol dışı kaynaklardan elde edilen düşük karbonlu alternatif jet yakıtlarının kullanımından elde edilmesi beklenmektedir (Chong vd., 2021).

Havacılık endüstrisinde temel olarak karbon sayısı 8 ile 16 arasında olan hidrokarbonların bir karışımı olmak üzere 4 farklı türde havacılık yakıtı bulunmaktadır. Bunlar kerosen (Jet A/A-1), kerosen-benzin karışımı (Jet B), havacılık benzini (avgas) ve biyoyakıttır. Jet A/A1 hafif, rafine edilmiş petrol kerosen tipi bir yakıt olmakla birlikte ticari uçuşlarda kullanılır. Jet A-1'in donma noktası -47 °C, Jet A'nın donma noktası -40°C olup Jet A genellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan bir yakıt türüdür. Parlama noktası 20 °C ve donma noktası -72 °C olan Jet B askeri jetlerde, avgas yüksek oktanlı yakıt gerektiren küçük özel uçaklarda kullanılır. Biyoyakıtların araştırılması ve geliştirilmesi, kerosen kullanımına alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Farooqui vd., 2022; Raab vd., 2024). Sürdürülebilir havacılık yakıtlarının (SAF) geleneksel havacılık yakıtı (kerosen) ile benzerliği sebebiyle, uçak motorlarında veya ilgili ekipmanlarda değişiklik yapılmadan doğrudan harmanlanabilir ve birbirlerinin yerine kullanılabilirler. SAF kerosene göre önemli avantajlar sunarken, havacılık sektörüne entegrasyonu çevrenin korunması ve iklim değişikliğine ilişkin uluslararası politikalarla uyum sağlamasını gerektirmektedir.

Emniyetli, güvenli ve ekonomik hava ulaşımını sağlayabilmek amacıyla kurulan Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği'nin (IATA) SAF ile ilgili ana rolü, ilgili çalışma grupları aracılığıyla uzman girdisi sağlamanın yanı sıra politika belirlemek ve geliştirmektir. Bu doğrultuda dünyada SAF'ın gelişim sürecine dair politikalar ve IATA kapsamında atılan adımlar Tablo 1' de özetlenmiştir (Efthymiou ve Ryley, 2022; Wang vd., 2024; IATA, 2024).

Tablo 1. SAF üretimi ve kullanımının tarihçesi.

Table 1. History of saf production and usage.

YIL	POLİTİKALAR/ ÖNEMLİ KONULAR	AÇIKLAMA	ULUSLARARASI HAVA TAŞIMACILIĞI BİRLİĞİ (IATA)				
1990	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kyoto Protokolü	Uluslararası iş birliğinin yönetilmesi için gerekli ilkelerin belirlenmesi (sorumluluklar İlkesi, Yetkinlikler İlkesi, Eşitlik İlkesi, Sürdürülebilir Kalkınma İlkesi) Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde ICAO aracılığıyla havacılık emisyonlarının sınırlandırılması ya da azaltılması					
2008			Biyojet	yakıtı	ile	ilk	test
2009	Havacılık ve Alternatif Yakıtlar için Küresel Çerçeve	ICAO tarafından kerosen, karışimli jet yakıtı ve SAF arasındaki kesin ayrımlar açıklanmış ve tanımlanmıştır.	gerçekleştirilmiştir.				uçuşu

2011-2015		22 havayolu şirketi, kullanılmış yemeklik yağ, jatrofa, ketencik ve alg gibi hammaddelerden elde edilen %50'ye varan biyojet yakıt karışımlarıyla 2.500'den fazla ticari yolcu uçuşu gerçekleştirmiştir.
2015	Paris Anlaşması	Kyoto sonrası dönemde uluslararası mekanizmalar için planlar geliştirilmektedir.Ulusal Olarak Belirlenen Katkılar (NDC) mekanizması önerilmiştir
2016	38. Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) Kongresi	Havacılık Karbon Azaltım Çerçevesi geliştirilmiştir CORSIA'nın kabul edilmesiyle SAF ile ilgili kurallar henüz yürürlükte olmamakla birlikte üye ülkelerde havacılık için alternatif yakıtlara yönelik politikaların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının teşvik edilmesi
2017	39.Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) Kongresi	CAO tarafından SAF ilk kez tanımlanmıştır. SAF'ın uluslararası havacılık yakıt talebindeki payının 2050 yılına kadar %50'ye ulaşması öngörülmektedir
2018	Uluslararası Sivil Havacılık Sözleşmesi Ek 16, Cilt IV	SAF'ın çerçeve sürdürülebilirlik kriterlerinin geliştirilmesi
2019		SAF kullanılan ticari uçuş sayısı 250.000
2020		İki yeni SAF sertifikasının Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) tarafından onaylanması ve üretimi onaylanan SAF sayısının 7'ye yükselmesi
2021	Uluslararası Havacılık için Karbon Denkleştirme ve Azaltım Programı (CORSIA) Faz 1 Pilot	CORSIA kapsamındaki havayollarının, geçmiş dönemdeki emisyon artışı dengelemek için yeterli karbon kredisi satın aldıklarını gösteren bir rapor sunmaları gerekmektedir. 2027'den itibaren SAF kullanımının zorunlu olması ve SAF harmanlama oranlarını emisyon azaltma mekanizmalarına dahil etmesi
2022		Boston'da düzenlenen 77. IATA Genel Kurulu, küresel hava taşımacılığı sektörünün 2050 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşmasını öngören bir kararı onaylamıştır.
2023		41'inci ICAO Toplantısı'nda 2050 yılına kadar net sıfır CO ₂ emisyonuna ulaşmak için uzun vadeli bir hedef belirlenmiştir. SAF üretimi (300 milyon L olmuştur.
2024		IATA, SAF dahil olmak üzere 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşmak için stratejik yol haritası yayınlamıştır. AB, 'Fit for 55' mevzuatını tamamlayan ReFuelEU Aviation'ı kabul etmiştir. SAF ve kerosen harmanının 2025 yılında asgari %2'lik bir karışımla başlayıp 2050 yılında %70'e yükseltilmesi planlanmıştır. ICAO 2030'da karbon emisyonunun %5 azaltılması için SAF üretimini teşvik edecek küresel bir çerçeve üzerinde anlaşmıştır. %100 SAF kullanılarak dünyanın ilk ticari transatlantik uçuşu gerçekleştirilmiştir. SAF üretimi 600 milyon litre ve küresel jet yakıtı kullanımının %0,2'sini temsil etmektedir.
2024		2024 yılında SAF üretimi 1.250 milyar litreye ulaşarak küresel jet yakıtı kullanımının %0,3'ünü temsil etmektedir.

Türkiye'de SAF ile ilgili Düzenlemeler:

Türkiye'de de havacılık kaynaklı karbon emisyonlarını azaltmaya ve sürdürülebilir havacılık yakıtı kullanımına yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından 'SAF Talimatı' taslağı Ağustos 2024'te (SHT-SAF) yayınlanmıştır. Bu talimat kapsamında uluslararası uçuşlardan kaynaklanan emisyonların ICAO'nun 2030 yılında %5 emisyon azaltımı hedefi kapsamında gerekli SAF kullanımı ile alakalı bilgi ve belgeler SHGM resmi internet sitesinden yayımlanacaktır. SHGM tarafından bir takvim yılında kullanılacak SAF miktarını resmi internet sitesinde o takvim yılı sona ermeden açıklanacaktır. Tüm paydaşların belirtilen SAF miktarını ilgili takvim yılı içinde arz etmek ve tüketilmesini sağlamakla yükümlü olduğu belirtilmektedir (SHGM, 2024). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından SAF hammadde kaynaklarından biri olan bitkisel ve hayvansal atık yağların yönetiminin daha etkin hale getirilmesi amacı ile Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (BAYKY) hazırlanmıştır (T.C Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015).

Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı Kriterleri:

Yenilenebilir veya atık hammaddelerden üretilen ve CORSIA sürdürülebilirlik kriterlerini karşılayan yakıtlar SAF olarak kabul edilir. Küresel fosil jet yakıtı (petrol

bazlı) üretiminin ortalama yaşam döngüsü sera gazı emisyonları; ham petrol geri kazanımı, nakliye ve rafinaj, jet yakıtı nakliyesi ve jet yakıtı yanması dahil olmak üzere kuyudan çıkarılıp uçuşta kullanımına kadar (Well To Wake) olan emisyonların toplamı 89 gCO₂e/MJ olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, yaşam döngüsü sera gazı emisyonları 89 gCO₂e/MJ'den düşük olan yakıtlar CORSIA için uygun kabul edilmiştir (Prussi vd., 2021).

SAF'ın petrol bazlı havacılık yakıtının yerine kullanılabilmesi için SAF ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) standartları çerçevesinde doğrulanması gerekmektedir (Wang vd., 2024). Havacılık yakıtını düzenleyen üç temel ASTM standardı D1655, D7566 ve D4054'tür. ASTM D1655, Jet A ve Jet A-1 havacılık yakıtı için minimum gereklilikleri belirtir ve havacılık yakıtı üreticileri için kapsamlı bir kılavuz görevi görerek, geliştirilen yakıtın mevcut havacılık altyapısına sorunsuz bir şekilde entegre olmasını sağlamak için gerekli test ve analiz gereksinimlerini ana hatlarıyla belirtir. ASTM D7566 ise ASTM D1655 onaylı yakıtlarla harmanlanmadan önce kullanıma hazır sentetik yakıtlar (SAF) için özellik ve bileşim gereksinimlerini tanımlamaktadır. ASTM D4054, potansiyel bir alternatif jet yakıtını değerlendirmek için test ve özellik kriterlerini detaylandırır (Lau vd., 2024). SAF ve fosil jet yakıtının ASTM 1655 ve D7566 standartlarına

göre sağlaması gereken spesifikasyonlar Tablo 2’de verilmiştir (Wang vd., 2024).

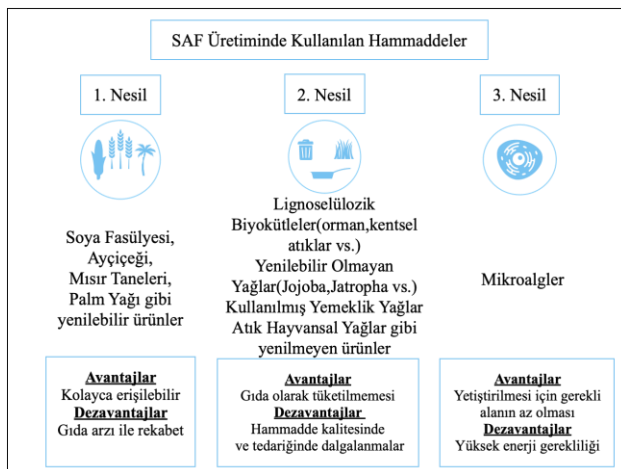
Tablo 2. SAF ve fosil jet yakıtının ASTM D1655 ve ASTM D7566 standartlarına göre sahip olması gereken spesifikasyonlar.

Table 2. Specifications of SAF and fossil jet fuel according to ASTM D1655 and ASTM D7566 standards.

Spesifikasyon	ASTM 1655	ASTM 7566
Asidite	0.1	0.1
Aromatikler (%) Max	25	25(8) Max
S.Kütle % Max	0.3	0.3
10 % Rec Max	205(400)	205
%90 Rec	-	40
BP	300	300
Parlama Noktası °C	38	38
Yoğunluk, kg/m ³	775-840	775-840
Donma Noktası °C	-40(Jet A) -47(Jet A-1)	-40(Jet A) -47(Jet A-1)
Viskozite -20 °C	8 Max	8 Max
Spesifik Enerji MJ/kg min	42.8	42.8
Dumanlanma Noktası (min)	25	25
Dumanlanma Noktası (max)	19.3	18.3
Naftalinler %	3	3
İletkenlik pS/m	50-450	-

SAF Türleri ve Hammadde Kaynakları: SAF üretim sürecinde amaç, kerosen bazlı havacılık yakıtının ana bileşeni olan sentetik parafinik (petrolden elde edilen mineral yağ) kerosen (SPK) elde etmektir. SPK'dan üretilen yakıtın aromatikler ve halkalı zincirli alkanlardan yoksun olması sebebiyle geleneksel kerosen bazlı havacılık yakıtı ile harmanlanması gerekmektedir. Buna rağmen, SAF karbon emisyonlarının azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunur ve yaşam döngüsü sera gazı emisyonları geleneksel havacılık yakıtı emisyonlarına göre daha düşüktür (Wang vd., 2024).

Hammadde seçimi kökenine ve özelliklerine bağlı olarak SAF kategorisinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Potansiyel hammaddenin sahip olması gereken bazı temel özellikler; hammaddenin bulunabilirliği, gıda üretimini etkilememesi, uygun maliyet ve düşük çevresel ayak izidir. SAF üretiminde kullanılan hammadde kaynakları birinci, ikinci ve üçüncü nesil olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Hammadde kaynaklarının türleri, avantajları ve dezavantajları Şekil 1’de gösterilmiştir (Lau vd., 2024).



Şekil 1. SAF üretiminde kullanılan hammaddeler, avantajlar ve dezavantajlar.

Figure 1. Advantages and disadvantages of feedstocks for SAF production pathways.

Birinci nesil hammadde kaynakları tarım arazilerinin kullanımı sebebiyle yenilebilir gıda ürünlerinin maliyetini arttırabilir, dünyanın yakıt ihtiyacını karşılamak üzere bu hammaddelerin yetiştirilmesi ekolojik dengenin bozulmasına ve ormansızlaşmaya yol açabilir (Şekil 1). İkinci nesil hammaddeler gıda tedarik zincirini doğrudan etkilemeyeceğinden, biyoyakıt dönüşümü için daha iyi seçeneklerdir. Hammaddelerin yakıt üretimine hazır hale getirilmesi sürecindeki stabilizasyon aşamaları ve temini konusundaki sürekliliğin sağlanması ikinci nesil hammaddeler için dezavantaj oluşturabilecek durumlardır. Mikroalgler, büyük ölçekli üretim için iyi bir lipid kaynağıdır, hızlı üremeleri nedeniyle yetiştirilmeleri çok kolaydır. Ancak yüksek sermaye maliyetleri nedeniyle bu konudaki araştırmalar nispeten daha azdır (Monika vd., 2023; Michaga vd., 2021; Yousefzadeh vd., 2024).

ASTM tarafından onaylanmış SAF türleri şunlardır; *Fisher Tropsch Sentetik Parafinik Kerosen (FT-SPK)*, *Hidroişlenmiş(Hydroprocessed) Esterler ve Yağ Asitleri Sentetik Parafinik Kerosen (HEFA-SPK)*, *Hidroişlenmiş Fermente Şekerler Sentezlenmiş İzo parafinler (HFS-SIP)*, *Aromatikli Fischer-Tropsch Sentetik Parafinik Kerosen (FT-SPK/A)*, *Alkolden Jete Sentetik Parafinik Kerosen (ATJ-SPK)*, *Katalitik Hidrotermaliz Sentezlenmiş Kerosen (CHJ/ CH-SK)*, *Hidroişlenmiş Hidrokarbonlar, Esterler ve Yağ Asitleri Sentetik Parafinik Kerosen (HC-HEFA-SPK)*, *Aromatiklerle Alkolden Jete Sentetik Kerosen (ATJ-SKA)*. *FT-SPK*, ASTM tarafından onaylanan en eski SAF dönüşüm yoludur. Süreç, sentetik gaz üretimi, sentetik ham petrol üretimi ve nihai ürünü üretmeden önce sentetik ham petrolün ayrıştırılması, yükseltilmesi ve rafine edilmesini içeren 3 ana aşamadan oluşmaktadır. *HEFA-SPK*, biyokütleden yağın çıkarılması ve doymamış lipid trigliseritlerin hidrojenlenmesiyle üretilir. *HFS-SIP*, hidroişleme ve fraksiyonlama işlemlerinin bir kombinasyonu yoluyla fermente edilebilir şekerlerden elde edilen farnesinin (birbirine yakın 6 kimyasal bileşik) işlenmesiyle üretilir. *FTSPK/A*, *FT-SPK* sentezinden türetilmiştir. Temel fark *FT-SPK/A'da* aromatiklerin bulunmasıdır. *ATJ-SPK*, yenilenebilir kaynaklardan alkol üretilmesi, kısa zincirli alkollerin (C1-C4) daha uzun hidrokarbonlara (C8-C16) dönüştürülmesiyle üretilir. *CHJ/ CH-SK* üretimi, katalizör eşliğinde yüksek sıcaklık ve basınçta (240–450 °C ve 1.5–25 MPa) yürütülen bir süreçtir. *HC-HEFA-SPK* yönteminde hammadde olarak algler (*Botryococcus braunii*) kullanılır. *HEFA-SPK'dan* tek farkı hammadde kaynağıdır. *HC-HEFA-SPK* yeni onaylanmış bir SAF'tır. *ATJ-SKA'nın ATJ-SPK* prosesinden farkı aromatiklerin bulunmasıdır (Lau vd., 2024; Wang vd., 2024; Bardon vd., 2025; Watson vd.,2024).

SAF üretim yollarının uygunluğu Teknoloji Hazırlık Seviyesi (TRL) ve Yakıt Hazırlık Seviyesi (FRL) ile ölçeklendirilmektedir. FRL TRL'den daha geniş bir perspektifle türetilmiştir: yakıt sadece kimyasal olarak işlevsel olmakla kalmamalı, aynı zamanda teknolojik bağlamda da (yani uçak ve yakıt ikmal altyapıları) kullanımı mümkün olmalıdır. Seviye 4 prototip yani laboratuvarında doğrulanmış teknoloji, 5-6 doğrulanmış teknoloji, 7 ticari sunum öncesi ve 8 ticari ürün yani tamamlanmış ve nitelikli anlamına gelmektedir (Bardon

vd., 2025). HEFA en uygun SAF türü (Tablo 3) olmakla birlikte ve şu anda ticari olarak kullanılmaktadır. Halihazırda güvenli ve ölçeklenebilir bir teknoloji olduğu için tercih edilmektedir. Yaklaşık %80 civarında sera gazı azaltım potansiyeli mevcuttur (Mannion vd., 2024). SAF dönüşüm proseslerinin özellikleri ASTM onaylı ve henüz ASTM onayı almamış potansiyel teknolojiler Tablo 3'te verilmiştir (Cabrera vd., 2022; Lau vd., 2024; Xu vd., 2025).

Tablo 3. ASTM Onaylı ve Potansiyel SAF Türleri.

Table 3. ASTM-approved and potential SAF types.

Hammadde	Proses	Ara Ürün	Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı (SAF) Dönüşüm Prosesi	Max Karışım Oranı (%v/v)	Onaylanma Yılı	Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) 7566	Teknoloji Hazırlık Seviyesi (TRL)	Yakıt Hazırlık Seviyesi (FRL)
Tarım ve Ormancılık Kalıntıları. Yağ içeren bitkiler. Kentsel katı atıklar	Gazlaştırma	Sentez Gazı	FT-SPK Fisher Tropsch Sentetik Parafinik Kerosen	50	2009	Ek 1	6-8	6-7
Yağ içeren bitkiler Kullanılmış yemeklik yağ Hayvansal yağ	Nötralizasyon	Hidrokarbonlar ve Lipitler	HEFA-SPK Hidroproseslenmiş Esterler ve Yağ Asitleri Sentetik Parafinik Kerosen HFS-SIP	50	2011	Ek 2	9	99
Şeker kamışı ve selüloz bazı şekerler	Ekstraksiyon	Şeker	Hidroproseslenmiş Fermente Şekerler Sentezlenmiş İzoparafinler FT-SPK/A Aromatikli Fischer Tropsch Sentetik Parafinik Kerosen	10	2014	Ek 3	7-8	5-7
Ek1'e Aromatik Bileşikler Eklenir	Gazlaştırma	Sentez Gazı	ATJ-SPK Alkolden Jete Sentetik Parafinik Kerosen CH ₃ /CH-SK Katalitik Hidrotermalizasyon	50	2015	Ek 4	6-8	6-7
Şekerler nişasta ve selüloz	Fermantasyon	Etanol ve İzobütanol	ATJ-SPK Alkolden Jete Sentetik Parafinik Kerosen CH ₃ /CH-SK Katalitik Hidrotermalizasyon	50	2016-İzobütanol 2018-Etanol	Ek 5	7-8	77
Trigliserit Bazlı Hammaddeler	Katalitik Hidrotermalizasyon	Bioyağ	HC-HEFA-SPK Hidroproseslenmiş Hidrokarbonlar, Esterler ve Yağ Asitleri Sentetik Parafinik Kerosen	50	2020	Ek 6	4-6	66
Alg (Botryococcus braunii)	Ekstraksiyon	Bio türevli lipitler ve hidrokarbonlar	ATJ-SKA Aromatikli Alkolden Jete Sentetik Kerosen	50	2020	Ek 7		66
Ek 5'e Aromatik Bileşikler Eklenir				50	2023	Ek 8		
SAF Üretimi için Henüz Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (ASTM) Onayı Almamış Potansiyel Teknolojiler								
Islak Alg			HtL. Hidrotermal Sıvılaştırma (Sıvı Jet Yakıtı)					
Şeker			APR. Sulu Faz Reformu (Sıvı Jet Yakıtı)					
Lignin			Piroliz Hidroproseslenmiş depolimerize selülozik jet (Sıvı Jet Yakıtı)					
Karbonat Zengin Hammadde			Fotofermantasyon (Hidrojen)					

SAF üretimi için henüz ASTM onayı almamış potansiyel teknolojiler ve hammaddeler mevcuttur. Potansiyel teknolojiler için kullanılan hammaddeler ıslak alg, biyo-bazlı polisiklik alkan(şeker), karbon açısından zengin atık gaz ve lignindir. Hidrojen SAF üretilebilirliği de araştırılmıştır. Lignoselülozik hammaddeler ve ıslak alglerden üretilen jet yakıtı hidrotermal sıvılaştırma (HtL) üretim veriminin düşük olmasıyla birlikte verimliliği ve ürün kalitesini artırmak için yüksek performanslı katalizörler araştırılmaktadır. Ayrıca bu yöntemde kullanılan hammaddenin ön işlem prosesinde de (karıştırma, taşıma vb.) teknik sorunlarla karşılaşmaktadır. Şekerden jet yakıtı sulu faz reformu (APR), lignoselülozik biyokütlerde bulunan selüloz

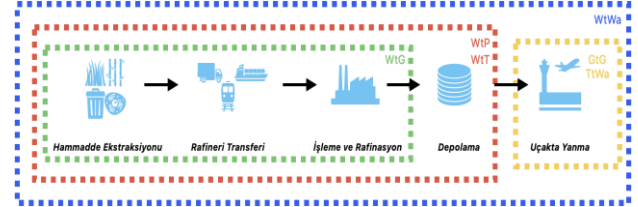
bileşenlerinin asit hidrolizi yoluyla parçalanmasıyla üretilir.

Lignoselülozdan jet yakıtı piroliz yöntemi biyo-yağ ekstraksiyonu, dekarboksilasyon ve sikloalkanın jet yakıtı üretmek için uygun hidrokarbonlara yükseltilmesi olmak üzere 3 adımdan oluşmaktadır. Karbonhidrattan hidrojene fotofermantasyon yöntemiyle üretilen hidrojenin hava taşıtlarında yakıt olarak kullanılması yeni bir yakıt dağıtım sisteminin geliştirilmesini ve uçak motorlarının ya da uçağı yeniden tasarlanmasını gerektirmektedir. Bu önemli değişiklikler göz önüne alındığında, mevcut altyapı ve teknoloji ile uyumlulukları nedeniyle şu anda geleneksel jet yakıtının yerine kullanılacak yakıtlar tercih edilmektedir (Lau vd., 2024; Bardon vd.,2025).

Sıvılaştırılmış doğal gazın (LNG) bir havacılık yakıtı olarak kullanılması 1970'lerde NASA tarafından araştırılmıştır. NASA ve Boeing tarafından yürütülen daha yakın tarihli bir program, 2040'larda pazara girebilecek farklı LNG yakıtlı uçak konseptlerini değerlendirmiştir. LNG'nin ana bileşeni olan LCH₄, LNG'nin zaten küresel olarak mevcut bir seçenek olması avantajına sahiptir. Ayrıca, biyokütle ve elektrikten metan sentezi, SAF sentezinden daha az karmaşıktır. Hidrojen gibi metanın da sıvılaştırılması havaalanı altyapısında değişiklik yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, gerekli büyük yatırımlar göz önüne alındığında yakıt çeşitliliğinde bir değişiklik olmaması şaşırtıcı değildir. Çünkü ticari havacılık sektöründe şu ana kadar herhangi bir değişiklik talebi olmamıştır. Ekonomik veya diğer teşviklerin yeterince yüksek olması halinde bu durum gelecekte değişebilir (Raab vd., 2024).

SAF Üretim Prosesinde Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Yaklaşımları: CORSIA kapsamında, SAF kullanımından kaynaklanan emisyon azaltımları, 2018 yılında ICAO'da kabul edilen yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) yaklaşımı kullanılarak hesaplanmaktadır. YDD yöntemi, havacılık yakıtlarının yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarının hesaplanması için uluslararası düzeyde benimsenen ilk yaklaşım haline gelmiştir (Prussi vd., 2021). Tam bir YDD yaklaşımı normalde tüm ürün tedarik zincirinin çerçevelenmesini gerektirir ve beşikten mezara kadar yapılmalıdır, ancak yakıt bazlı ürünlerin değerlendirilmesi söz konusu olduğunda en genel anlamda Well-to-Wake (WtWa) yaklaşımı olarak adlandırılır ve farklı hammaddeler ve proses yolları arasında, seçilen teknolojilerin tüm sera gazı (GHG) emisyonlarını, ekstraksiyondan üretime ve nihai

yanmaya kadar toplam ömürleri içeren tutarlı bir sürdürülebilir havacılık yakıtı karşılaştırması sağlayabilir. YDD, havacılık yakıtlarına uygulandığında dört tipik sistem sınırı ile değerlendirme yapılabilir (Şekil 2): mavi renkle gösterilen Well to Wake (WtWa), yeşil renkle gösterilen Well to Gate (WtG), kırmızı renkle gösterilen Well to Pump (WtP) ya da Well to Tank (WtT) sarı renkle gösterilen ise Gate to Gate (GtG) dir (Kolosz vd., 2020).



Şekil 2. Genel bir havacılık yakıtının YDD sistem sınırları.
Figure 2. System boundaries for LCA of an aviation fuel.

Hammaddelerin değişkenliği ve diğer faktörler nedeniyle, ASTM sertifikasyonu tarafından onaylanmış SAF üretimi için en iyi evrensel yol belirlenememiş olup tüm üretim yollarının kendi içinde güçlü ve zayıf yönleri vardır (Lau vd., 2024). Biyokütle bazlı jet yakıtının farklı proseslerinin çevre ve kaynaklar üzerindeki etkisini karşılaştırmak amacıyla yapılan YDD çalışmaları temel olarak biyokütle bazlı sıvı yakıtın sera etkisini azaltma katkısına odaklanmıştır (Li vd., 2019). Yapılan bazı çalışmalar hammadde kaynakları ve dönüşüm yöntemleriyle birlikte Tablo 4'te verilmiştir (Watson vd., 2024; Seber vd., 2014; Sieverding vd., 2016; Han vd., 2013; Wang vd., 2023; Budsberg vd., 2016; Sun vd., 2023; Castillo Landero vd., 2023; Lokesh vd., 2015; Mousavi-Avval & Shah, 2021; Handler vd., 2012; Ringsred vd., 2021).

Tablo 4. SAF'la ilgili yapılan YDD Çalışmaları

Table 4. Life cycle assessment of SAF

Referans	Yakıt Türü	Hammadde Türü	Envanter Analiz Metodu	Fonksiyonel Birim	Sistem Sınırı	Sera Gazı Emisyonu
Seber vd., 2014	HEFA	Don Yağı Kullanılmış Yemeklik Yağ	REET-2011 Framework SimaPro 7.3.3	MJ Yakıt	Well to Wake	K. Yemeklik Yağ: 16.8-21.4 g CO ₂ eq/MJ Don Yağ: 25.7-83.9 g CO ₂ eq/MJ
Sieverding vd., 2016	HEFA	Carinata, Kanola, Ayçiçeği	REET 2014- v1.2.0.11219	Emisyonlar için kg kirlilik/kg ürün	Well to Tank (Pump)	Kanola en yüksek Ketencik en düşük 2,17 kg/kg
Han vd., 2013	HEFA -ATJ	Yağlı Tohumlar Mısır Sapı	REET	MJ Yakıt	Well to Wake	Fosil Yakıtı göre Sera Gazı Azaltımı HEFA %41-63 ATJ %89
Wang vd., 2023	ATJ	Mısır Koçanı	REET 2020 Tsinghua -CA3EM ASPEN Plus V11		Well to Wake	31.66 g CO ₂ eq/MJ
Budsberg vd., 2016	HFS-SIP	Kavak	REET- v1.2.0.11425		Well to Wake	60-73 g CO ₂ eq/MJ
Sun vd., 2021	ATJ	Mısır Sapı	CML2001-Gabi 9	GJ Yakıt	Cradle to Grave	Piroliz 64,8 kg CO ₂ eq/GJ Fermantasyon 18,4 kg CO ₂ eq/GJ Gazlaştırma 19,9 kg CO ₂ eq/GJ
Castillo Landero vd., 2023	HEFA	Palmiye Yağı	Open LCA- CML-IA -Ecoinvent 3.8	GJ Enerji	Gate to Gate/Cradle to Gate	12.2-12,8 kg CO ₂ eq/GJ
Lokesh vd., 2015	HEFA	Ketencik, Mikroalg, Jatrofa	ALCEmB	MJ Yakıt	Cradle to Grave	Ketencik %70, Mikroalg %58 Jatrofa %64 oranında emisyon azaltımı
Mousavi-Avval & Shah, 2021	HEFA	Akça Çiçeği	Open LCA- TRACI -Ecoinvent 3.2	GJ Yakıt	Well to Gate	35-49 kg CO ₂ eq/GJ
Handler vd., 2012		Mikroalg	SimoPro 7.2-IPCC GWP 100	1 kg kuru alg		0.1-4.4 kg CO ₂ eq/kg hammadde
Ringsred vd., 2021		Orman Atıkları	GHGenius model 4.03	MJ Yakıt	Well to Wake	25.7-28.3 gCO ₂ e/MJ

Sun vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada mısır sapının biyoyakıtı dönüştürülmesinde çevresel performanslarını karşılaştırmak için fermantasyon, piroliz ve gazlaştırma sistemleri üzerinde kapsamlı bir YDD

yapılmıştır. Asitleşme potansiyeli, en çok dikkat çeken etki kategorisidir. Biyoyakıt üretimi ve tarım, çevreyi esas olarak etkileyen süreçler olarak belirlenmiştir. Castillo-Landero vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, palm

yağı biyoyakıt üretim sürecini iyileştirmek için süreç yoğunlaştırma ve ısı entegrasyonu uygulanmış ve teknolojik analiz ve YDD yapılmıştır. Lokesh vd. (2015) tarafından yürütülen çalışmada, ketencik, mikroalg ve jatrofa hammaddelerinden üretilen sentetik parafinik kerosenler referans yakıt olan Jet-A1'e göre %70, %58 ve %64 oranında emisyon tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur. Mousavi-Avval ve Shah (2021) tarafından yapılan çalışmada akça çiçeği hidroşişlenmiş yenilenebilir jet yakıtı (HRJ) üretiminin enerji ihtiyacı ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Akça çiçeği bazlı HRJ üretiminin enerji kullanım verimliliği, kanola gibi diğer yağlı tohumlardan elde edilen HRJ'den daha yüksek olarak tahmin edilmiştir. Akça çiçeği bazlı HRJ'nin küresel ısınma potansiyeli benzer yağlı tohumlardan elde edilen HRJ'den ve fosil jet yakıtından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Wang vd. (2023) tarafından çalışmada Çin'deki etanolden elde edilen yakıtın enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarını (GHG) değerlendirmek için YDD yapılmıştır. Temiz elektrik ve ısı üretiminin enerji yoğun sistemin GHG emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabileceği ve en yüksek azaltımın %21,55 olduğu ortaya konulmuştur. Budsberg vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada kavak biyokütlesinden üretilen biyojet yakıtların, kerosene kıyasla küresel ısınma potansiyelini ve fosil yakıt kullanımını azalttığı tespit edilmiştir. Hidrojen üretimi önemli bir GHG emisyonu ve fosil yakıt kullanımı kaynağı olarak tanımlanmıştır. Her etki kategorisi için daha düşük değerler, fazla ısı/buhar taleplerini karşılamak için doğal gaz yerine orman atığı (hog fuel) kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Seber vd. (2014) yaptığı YDD çalışmasında, don yağından elde edilen HEFA ve dizel yakıtlar ile kullanılmış yemeklik yağdan elde edilen sarı gresin GHG emisyonları ve üretim maliyetleri hesaplanmış, geleneksel üretime kıyasla sırasıyla %76-81 ve %81-86 oranında sera gazı emisyonu azaltımı sağladığı belirlenmiştir.

SONUÇ

SAF ile ilgili yapılan YYD çalışmalarında; hammadde, üretim yöntemi, sistem sınırı gibi tercih edilen bir çok faktörün SAF türlerinin çevresel etki potansiyellerini etkilediği ve kerosene kıyasla GHG emisyonu azaltım potansiyellerinin yüksek olduğu görülmektedir. Fakat büyük ölçekli SAF üretimi, yaygın olarak tercih edilebilmesi için göz önünde bulundurulması gereken çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Temel zorluk, SAF üretimi için yeterli ve sürdürülebilir hammadde tedarikinin sağlanmasıdır. Yaygın hammaddeler arasında atık yağlar, tarımsal kalıntılar ve gıda dışı enerji bitkileri yer almaktadır. SAF talebini karşılamak için üretimin ölçeklendirilmesi, gıda üretimiyle rekabet etmeden veya orman kaybına neden olmadan sürdürülebilir ve bol

miktarda hammadde kaynağı bulmayı gerektirir. Şu anda, SAF üretim maliyeti geleneksel jet yakıtından daha yüksektir. Bu maliyet eşitsizliği SAF'ın havayolu şirketleri tarafından büyük ölçekte kullanılmasını zorlaştırmaktadır. SAF'ın geliştirilmesi ve kullanımının sağlanması için kalıcı ve güvenilir politikalar oluşturulması, SAF için istikrarlı bir pazar oluşturmak açısından çok önemlidir.

ICAO tarafından belirlenen SAF politikasında ilk aşamada, teknolojik hazırlığın geliştirilmesi için mali destek sağlayarak yatırım risklerini azaltmak ve paydaş katılımını arttırmaya yönelik teşviklerle SAF üretimini arttırmayı amaçlamaktadır. İkinci aşamada, SAF talebinin oluşturulması için ülkelerin kullanılma yönelik zorunluluklar oluşturması önemli bir rol oynamaktadır. SAF'a artan ilgi, bu konuda yapılan yatırımları ve teşvikleri arttırmıştır. Yetkili kurumlar, SAF üreticileri ve havayolu şirketleri arasında; izlenecek pazar politikaları ve finansal destek konularında yapılan anlaşmalarla sürdürülebilir SAF temini sağlar. Önerilen bu çözümler ve yaklaşımlar bir araya getirilerek, büyük ölçekli SAF üretimiyle ilgili zorlukların üstesinden gelinebilir ve daha sürdürülebilir bir havacılık endüstrisine geçiş hızlandırılabilir.

KAYNAKLAR

- Bardon, P. & Massol, O. (2025).** Decarbonizing aviation with sustainable aviation fuels: Myths and realities of the roadmaps to net zero by 2050. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **211**, 115279. DOI:10.1016/j.rser.2024.115279
- Budsberg, E., Crawford, J.T., Morgan, H., Chin, W.S., Bura, R. & Gustafson, R. (2016).** Hydrocarbon bio-jet fuel from bioconversion of poplar biomass: life cycle assessment. *Biotechnology for Biofuels*, **9**, 170. DOI: 10.1186/s13068-016-0582-2
- Cabrera, E. & Melo De Sousa, J.M. (2022).** Use of sustainable fuels in aviation-a review. *Energies*, **15**, 2440. DOI: 10.3390/en15072440
- Castillo-Landero, A., Dominguillo-Ramírez, D., Aburto, J., Sadhukhan, J. & Martinez Hernandez, E. (2023).** Improving the economic, environmental, and safety performance of bio-jet fuel production through process intensification and integration using a modularity approach. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **11**(2), 660-669. DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c05491
- Chong, C.T. & Ng, J. (2021).** Chapter 6-sustainability of aviation biofuels, biojet fuel in aviation applications production. *Usage & Impact of Biofuels*, 287-335. DOI: 10.1016/B978-0-12-822854-8.00005-6
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2015).** Bitkisel atık yağların kontrolü

yönetmeliği.

<https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/bitkiselatikyonetmeli.pdf> (Ziyaret tarihi: 1 Kasım 2024)

- Efthymiou, M. & Ryley, T. (2022).** Chapter 8- governance and policy developments for sustainable aviation fuels. *Sustainable Alternatives for Aviation Fuels*, 201-214. DOI: [10.1016/B978-0-323-85715-4.00010-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85715-4.00010-0)
- Farooqui, S.A., Sinha, A.K. & Ray, A. (2022).** Chapter 13- progress and trends in renewable jet fuels. *Advanced Biofuel Technologies*, 333-364. DOI: [10.1016/B978-0-323-88427-3.00011-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88427-3.00011-8)
- Han, J., Elgowainy, A., Cai, H. & Wang, M.Q. (2013).** Life-cycle analysis of bio-based aviation fuels. *Bioresource Technology*, **150**, 447-456. DOI: [10.1016/j.biortech.2013.07.153](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.07.153)
- Handler, R., M., Canter, C., E., Kalnes, T., N., Lupton, F., S., Kholiqov, O., Shonnard, D. R. & Blowers, P. (2012).** Evaluation of environmental impacts from microalgae cultivation in open-air raceway ponds: analysis of the prior literature and investigation of wide variance in predicted impacts. *Algal Research*, **1**, 83-92. DOI: [10.1016/j.algal.2012.02.003](https://doi.org/10.1016/j.algal.2012.02.003)
- IATA, (2024).** International Air Transport Association. Fly net zero CO₂ emissions by 2050. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-sustainable-aviation-fuels/> (Ziyaret Tarihi: 1 Kasım 2024)
- Kolosz, B. W., Luo, Y., Xu, B., Maroto-Valer, M. M. & Andresen, J. M. (2020).** Life cycle environmental analysis of ‘drop in’ alternative aviation fuels: a review. *Sustainable Energy Fuels*, **4**, 3229. DOI: [10.1039/C9SE00788A](https://doi.org/10.1039/C9SE00788A)
- Lau, J. I.C., Wang, Y.S., Ang, T., Seo, J.C.F., Khadaroo, S.N.B.A., Chew, J.J., Lup, A.N.K. & Sunarso, J. (2024).** Emerging technologies, policies and challenges toward implementing sustainable aviation fuel (SAF). *Biomass & Bioenergy*, **186**, 107277. DOI: [10.1016/j.biombioe.2024.107277](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107277)
- Li, M., Zhao, W., Xu, Y., Zhao, Y., Yang, K. & Tao, W. (2019).** Comprehensive life cycle evaluation of jet fuel from biomass gasification and fischer-tropsch synthesis based on environmental and economic performances. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **58**(41), 19179-19188. DOI: [10.1021/acs.iecr.9b03468](https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b03468)
- Lokesh, K., Sethi, V., Nikolaidis, T., Goodger, E. & Nalianda, D. (2015).** Life cycle greenhouse gas analysis of biojet fuels with a technical investigation into their impact on jet engine performance. *Biomass & Bioenergy*, **77**, 26-44. DOI: [10.1016/j.biombioe.2015.03.005](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.03.005)
- Mannion, L.A., Bell, A., Murphy, T., Kelly, M., Ghaani, M.R. & Dooley, S. (2024).** A physics constrained methodology for the life cycle assessment of sustainable aviation fuel production. *Biomass & Bioenergy*, **185**, 107169. DOI: [10.1016/j.biombioe.2024.107169](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107169)
- Michaga, M.F.R., Michailos, S., Hughes, K.J., Ingham, D. & Pourkashanian, M. (2021).** 10-Techno-economic and life cycle assessment review of sustainable aviation fuel produced via biomass gasification. *Sustainable Biofuels*, 269-303. DOI: [10.1016/B978-0-12-820297-5.00012-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820297-5.00012-8)
- Monika, Banga, S. & Pathak, V.V. (2023).** Biodiesel production from waste cooking oil: a comprehensive review on the application of heterogeneous catalysts. *Energy Nexus*, **10**, 100209. DOI: [10.1016/j.nexus.2023.100209](https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100209)
- Mousavi-Avval, S.H. & Shah, A. (2021).** Life cycle energy and environmental impacts of hydroprocessed renewable jet fuel production from pennycress. *Applied Energy*, **297**, 117098. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.117098](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117098)
- Prussi, M., Lee U., Wang, M., Malina, R., Valin, H., Taheripour, F., Velarde, C., Staples, M., D., Lonza, L. & Hileman, J. I. (2021).** Corsia: the first internationally adopted approach to calculate life-cycle ghg emissions for aviation fuels. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **150**, 111398. DOI: [10.1016/j.rser.2021.111398](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111398)
- Raab, M., Dietrich, R., Philippi, P., Gibbs, J., Oesingmann, K., Grimme, W. & Scheelhaase, J. (2024).** Aviation fuels of the future – a techno-economic assessment of distribution, fueling and utilizing electricity-based LH₂, LCH₄ and kerosene (saf). *Energy Conversion & Management: X*, **23**, 100611. DOI: [10.1016/j.ecmx.2024.100611](https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100611)
- Ringsred, A., Dyk, S. & Saddler, J. (2021).** Life-cycle analysis of drop-in biojet fuel produced from British Columbia forest residues and wood pellets via fast-pyrolysis. *Applied Energy*, **287**, 116587. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.116587](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116587)
- Seber, G., Malina, R., Pearson, M.N., Olcay, H., Hileman, J.I. & Barret, S.R.H. (2014).** Environmental and economic assessment of producing hydroprocessed jet and diesel fuel from waste oils and tallow. *Biomass & Bioenergy*, **67**, 108-118. DOI: [10.1016/j.biombioe.2014.04.024](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.024)
- Sieverding, L.H., Zhao, X., Wei, L. & Stone, J.J. (2016).** Life-cycle assessment of oilseeds for biojet

production using localized cold-press extraction. *Journal of Environmental Quality*, **45**, 967-976. DOI: 10.2134/jeq2015.06.0313

SHGM. (2024). Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü. Sürdürülebilir Havacılık Yakıtı Talimatı (SHT-SAF) Taslağı. <https://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/taslaklar/2024/SHT-SAF.pdf> (Erişim tarihi: 1 Kasım 2024)

Sun, H., Luo, Z., Li, S., Xue, S., Zhou, Q. & Wei, T. (2021). Comparative life cycle assessment (lca) of biofuel production via corn stover: fermentation to ethanol, pyrolysis to bio-oil, and gasification to jet fuel. *Biomass Conversion & Biorefinery*, **13**, 12809-12821. DOI: 10.1007/s13399-021-02054-z

Wang, B., Zhao, J.T. & Zhao, M. (2024). Sustainable aviation fuels: Key opportunities and challenges in lowering carbon emissions for aviation industry. *Carbon Capture Science & Technology*, **13**, 100263. DOI: 10.1016/j.ccst.2024.100263

Wang, X., Guo, L., Lv, J., Li, M., Huang, S., Wang, Y. & Ma, X. (2023). Process design, modeling and life cycle analysis of energy consumption and ghg emission for jet fuel production from bioethanol in China. *Journal of Cleaner Production*, **389**, 136027. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136027

Watson, M.J., Machado, P.G., Da Silva, A.V., Saltar, Y., Riberio, C.O., Nascimento, C.A.O. & Dowling, A.W. (2024). Sustainable aviation fuel technologies, costs, emissions, policies, and markets: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, **449**, 141472. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141472

Xu, Y., Zhang, Y., Deng, X., Lee, S., Wang, K. & Li, L. (2025). Bibliometric analysis and literature review on sustainable aviation fuel (SAF): Economic and management perspective. *Transport Policy*, **162**, 296-312. DOI: 10.1016/j.tranpol.2024.11.014

Yang, Q. & Chen, F. (2022). Chapter 9-life cycle assessment of biojet fuels. *Sustainable Alternatives for Aviation Fuels*, 215-236. DOI: 10.1016/B978-0-323-85715-4.00004-5

Yousefzadeh, H., Borhan, E., Haznedaroglu, B., Z., Uzun, A. & Erkey, C. (2024). Hydrothermal liquefaction of *Chlamydomonas nivalis* and *Nannochloropsis gaditana* microalgae under different operating conditions over copper-exchanged zeolites. *Biochemical Engineering Journal*, **205**, 109237. DOI: 10.1016/j.bej.2024



Novel Protein-Fiber Films from Agro-Waste: A Sustainable Approach for Antimicrobial Packaging

Muhammed Zahid KASAPOGLU^{1*} Esra AVCI²

¹Istanbul University Cerrahpasa, Institute of Nanotechnology and Biotechnology, Department of Nanotechnology, Istanbul, Turkey.

²Istanbul Teknokent, Istanbul University-Cerrahpaşa, Avcılar, Istanbul 34320, Turkey.

Received: 14.12.2024

Accepted: 14.03.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Kasapoglu, M.Z. & Avci, E. (2025). Novel Protein-Fiber Films from Agro-Waste: A Sustainable Approach for Antimicrobial Packaging. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 191-201. <https://doi.org/10.35229/jaes.1600652>

Atıf yapmak için: Kasapoglu, M.Z. & Avci, E. (2025). Tarımsal Atıklardan Yeni Protein-Ham Lif Filmler: Antimikrobiyal Paketleme İçin Sürdürülebilir Bir Yaklaşım. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 191-201. <https://doi.org/10.35229/jaes.1600652>

* <https://orcid.org/0000-0002-2397-6984>
 <https://orcid.org/0000-0003-0317-2118>

***Corresponding author's:**

Muhammed Zahid KASAPOGLU
Istanbul University Cerrahpasa, Institute of
Nanotechnology and Biotechnology,
Department of Nanotechnology, Istanbul,
Turkey.

✉: muhammed.kasapoglu@iuc.edu.tr

Abstract: This study focuses on the development and use potential of antimicrobial edible films, which are among the important topics of recent environmental approaches. In this context, antimicrobial edible films produced with protein and crude fiber obtained from cold-pressed pepper seed oil by-products were examined. Films with protein (P Film) and crude fiber (CF Film) were assessed for structural, mechanical, barrier, and antimicrobial properties. Mechanical tests showed P-CF Film had better flexibility, while P Film achieved the highest elongation at break (33.76%) and tensile strength (0.46 MPa). Barrier properties revealed that films containing both protein and fiber had lower water vapor permeability and significantly higher oxygen permeability than films with only protein or fiber. Antimicrobial tests indicated that both P Film and P-CF Film were effective against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, with P Film showing superior inhibition against *Salmonella typhimurium*. This study highlights the potential of using protein and crude fiber from chili pepper seed oil by-products to develop antimicrobial edible films, offering a sustainable alternative to conventional packaging.

Keywords: Edible films, antimicrobial, protein, crude fiber.

Tarımsal Atıklardan Yeni Protein-Ham Lif Filmler: Antimikrobiyal Paketleme İçin Sürdürülebilir Bir Yaklaşım

Öz: Bu çalışma, son dönemde çevreci yaklaşımların önemli başlıklarından, antimikrobiyal yenilebilir filmlerin geliştirilmesi ve kullanıma potansiyelinin araştırılmasına odaklanmıştır. Bu kapsamda, soğuk sıkım biber çekirdeği yağı yan ürünlerinden elde edilen protein ve ham lif ile üretilen antimikrobiyal yenilebilir filmler incelenmiştir. Protein (P Film) ve ham lif (CF Film) içeren filmler, yapısal, mekanik, bariyer ve antimikrobiyal özellikler açısından değerlendirilmiştir. Mekanik testlerde, P-CF Filmi daha iyi esneklik gösterirken, P Filmi en yüksek kopma uzaması (%33.76) ve çekme mukavemetine (0.46 MPa) ulaşmıştır. Bariyer özellikleri, protein ve lif içeren filmlerin sadece protein veya lif içeren filmlere kıyasla daha düşük su buharı geçirgenliğine ve önemli ölçüde daha yüksek oksijen geçirgenliğine sahip olduğunu göstermiştir. Antimikrobiyal testler, hem P Filmi hem de P-CF Filmi'nin *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuş, P Filmi'nin ise *Salmonella typhimurium* karşısında üstün inhibisyon gösterdiği belirlenmiştir. Bu çalışma, biber çekirdeği yağı yan ürünlerinden elde edilen protein ve ham lifin antimikrobiyal yenilebilir filmlerin geliştirilmesinde kullanıma potansiyelini vurgulamakta ve geleneksel ambalajlara sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yenilebilir film, antimikrobiyal, protein, ham lif.

***Sorumlu yazar:**

Muhammed Zahid KASAPOGLU
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa,
Nanoteknoloji ve Biyoteknoloji Enstitüsü,
Nanoteknoloji Anabilim Dalı, İstanbul,
Türkiye.

✉: muhammed.kasapoglu@iuc.edu.tr

INTRODUCTION

Many large-scale food industry byproducts include significant nutrients and chemicals that can be recovered and repurposed. Among these by-products, proteins and fibers are particularly noteworthy due to their potential use in a range of sectors, including the production of edible films. By lowering waste and encouraging recycling, the extraction of these chemicals from waste not only increases the value of the byproducts but also supports sustainable practices (Kumar, Konwar et al. 2023). The waste produced during the manufacturing of cold-pressed hot pepper oil is one prominent example (Sandoval-Castro, Valdez-Morales et al. 2017). Peppers belong to the *Solanaceae* family's *Capsicum* genus. Varieties high in capsaicin are known as hot peppers. Significant waste is produced when peppers are processed into sauces and spices, especially the seeds, which are high in lipids, proteins, and bioactive substances. Because of its significant bioactive content, cold-press extraction of pepper seed oil is becoming more and more popular (Karaaslan, Sengün et al. 2021, Avci, Akcicek et al. 2024).

Edible coated films based on naturally occurring renewable biopolymers have become a revolutionary environmentally friendly food preservation technique as environmental concerns become more pressing (Hadidi, Jafarzadeh et al. 2022). Although biodegradability and edibility are among their best features, edible coatings and films' primary role is to protect food from environmental effects such as microorganisms, oxygen, light and water vapor. When compared to conventional packaging technologies, edible coated films can control the flow of water, oxygen, and solutes, thereby lowering moisture loss and preventing interaction between food and spoiled microorganisms (Wang, Ding et al. 2021, Sood and Saini 2022).

The use of natural polymers, including proteins, polysaccharides, lipids and their mixtures, in food packaging has increased in importance in recent years due to their advantageous qualities such as non-toxicity, thermostability, biodegradability and biocompatibility (Nguyen, Pham et al. 2022). Edible coatings can be made from environmentally benign materials such as starch, chitosan, pectin, alginate, or other mucilaginous seeds (Mohamed, El-Sakhawy et al. 2020, Capar 2023).

Recent research has looked into the usage of protein-based films and fiber-protein composite films as alternatives to traditional synthetic packing materials. These biodegradable and edible films provide a viable alternative for food packaging by combining barrier characteristics and biodegradability (Wang, Ding et al. 2021). Since proteins have good oxygen barrier qualities, functionality, and film-forming ability, there have been a lot of research done on the

creation of edible films using proteins (Brito, Carrajola et al. 2019). Nevertheless, the mechanical and water vapor barrier qualities of these coatings are limited. The development and testing of composite edible films derived from biopolymers has garnered significant attention in the field of food packaging research in recent years (Ye, Han et al. 2019, Huang, Xiang et al. 2021, Sani, Geshlaghi et al. 2021, Homthawornchoo, Han et al. 2022). Proteins and fibers can be added to these films to improve their functionality and mechanical properties while also assisting in the creation of environmentally friendly packaging options.

One significant advantage of edible films with antimicrobial properties is their ability to extend the shelf life of food products by inhibiting the development of dangerous and spoiling bacteria (Galus & Kadzińska, 2015). This function is essential to preserving food's safety and quality (Galus and Kadzińska 2015). By lowering the requirement for extra preservatives, antimicrobial edible films can satisfy customer desire for less processed and more natural foods while also promoting the clean label movement (Domínguez, Barba et al. 2018). The antibacterial properties of proteins and fibers in edible films have been the focus of several inquiries (Domínguez, Barba et al. 2018, Kandasamy, Yoo et al. 2021, Mercadal, Picchio et al. 2024). Proteins like soy, whey, and zein have been demonstrated to contain inherent antibacterial characteristics that interact with microbial cell membranes, causing cell breakdown and reducing microbial growth (Ghanbarzadeh and Oromiehi 2008, Alipour, Rahaiee et al. 2023, Jeon, Lee et al. 2023, Mercadal, Picchio et al. 2024). For example, studies have shown that whey protein films containing essential oils have significant antibacterial effect against common foodborne diseases such as *Staphylococcus aureus* and *E. coli* (Seydim and Sarikus 2006). In addition, fibers especially those sourced from plants help edible films retain their antibacterial properties. Fibers such as cellulose, chitosan, and pectin can be added to films to enhance their barrier properties and produce a physical barrier that prevents germs from penetrating (Dai, Huang et al. 2022).

This article primary goal is to determine whether it is feasible to extract protein and fiber from by-products of cold-pressed hot pepper oil in order to produce antimicrobial edible films. By transforming food industry waste into valuable resources, the research supports sustainable practices and waste reduction. The study also demonstrates the feasibility of using protein from these by-products as a key component in edible films due to its natural antimicrobial properties, strong oxygen barrier characteristics, and excellent film-forming ability. By creating a physical barrier that prevents microorganisms from penetrating, the crude fibers taken from hot pepper oil by-products are thought to greatly improve the films' barrier

qualities and increase their protective effectiveness. This research fills a gap in the literature by being the first to explore the combination of protein and fiber from hot pepper oil by-products in the production of antimicrobial packaging materials. This study provides a thorough assessment of the mechanical, structural and barrier properties of edible films, revealing that the combination of protein and fiber plays a key role in enhancing water vapor barrier properties. The research also investigates the antimicrobial effectiveness of these films, demonstrating their ability to inhibit *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium*. The findings underscore the significant potential of these films in food packaging applications, offering a promising approach to improving food safety through natural, sustainable materials. Overall, this study provides a sustainable, biodegradable alternative to conventional packaging materials, contributing valuable insights into the development of environmentally friendly packaging solutions. The findings also pave the way for future research and optimization of these films for broader applications, aligning with modern environmental and economic goals.

MATERIAL AND METHOD

Material: Pathogenic microorganisms, including *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Escherichia coli* BC1402, and *Salmonella typhimurium* RSSK95091, were received from Beetech Biotechnology Limited Company in Istanbul, Turkey. Cold-pressed hot pepper seed oil byproduct was received from ONEVA Food Co. (Istanbul, Turkey). MRS agar, MRS broth, nutritional agar, and 85% glycerol were supplied by Merck (Darmstadt, Germany).

Protein and crude fiber isolation from cold-pressed hot pepper oil by-product: Crude fiber and protein were isolated from cold-pressed hot pepper oil by-product (HPOB) using methods modified by (Avci, Akcicek et al. 2024). Initially, HPOB was diluted 1:15 (w/v). To enhance protein yield, the diluted samples were ultrasonicated at 301.34 W for 3 minutes. The temperature during ultrasonication was kept at 60°C. The mixture was centrifuged at 10,000 rpm (15 min) at 25°C. To precipitate the crude fibers, the supernatant was combined with 95% ethanol at a ratio of 1:1(w/v) and centrifuged at 10,000 rpm (15 min) at a temperature of 4°C. The crude fibers were then isolated and stored until lyophilization. The pH at which the zeta potential of the remaining liquid decreased to zero was determined. After determining the proteins' isoelectric point as pH 5.5, it was precipitated by centrifugation at 10,000 rpm for 15 minutes at 25 °C. Proteins and crude fibers were lyophilized with a freeze-drying apparatus (Martin Christ GmbH, Beta 1-8 LSCplus, Germany).

Preparing film-forming solutions and films: Three different kinds of film samples were made for this study: protein, crude fiber, and their mixture. The production of films is shown in the flow chart in Figure 1. The P film included 5% protein, the P-CF film contained 5% protein plus 2.5% crude fiber and the CF film contained 5% crude fiber (w/v). These components were combined in distilled water using a magnetic stirrer at 70°C for 1 hour. The combination was then left to sit overnight at +4°C. In addition, 2.5% (w/v) glycerol was added as a plasticizer, and the mixture was agitated for 30 minutes in a sealed container at 70°C in a water bath. The film preparations were placed in 90 × 17 mm sterile Petri dishes and left to dry for 24 hours at 35°C in a fan-assisted incubator. Subsequently, 30 g of the film solution was poured into each sterile Petri dish.

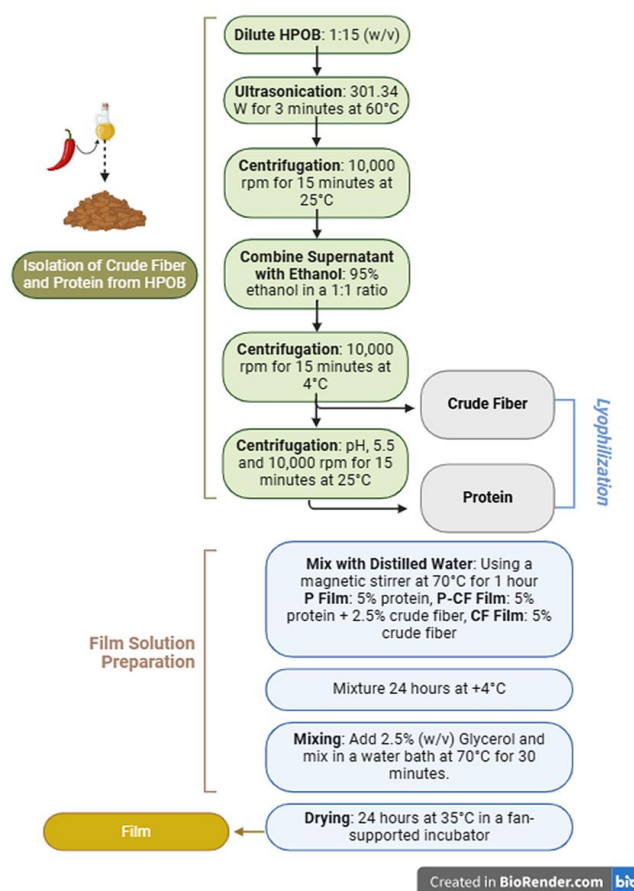


Figure 1. Flowchart of the produced film samples.

Structural characterization:

Thickness and optical properties: A digital micrometer (Fowler Digitrix Mark 2, Chicago, USA) was used to measure the film samples' thickness, and a Konica Minolta Chromameter (CR-400, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) was used to measure the surface color characteristics (L^* , a^* , and b^*) (Tornuk, Sagdic et al. 2018). Color measurements were taken by placing the film samples on the colorimeter and selecting at least three random places from each sample to measure the color parameters.

Mechanical properties of the films: Tensile strength (Karydis-Messinis, Kyriakaki et al.) and elongation at break (E%) of the film samples were measured using a texture analyzer (TA. XT Plus StableMicro Systems, Surrey, UK) fitted with a 5 kg load cell in accordance with ASTM D882-12 guidelines (Soukoulis, Behboudi-Jobbehdar et al. 2017). Initially, grip separation and crosshead speed were chosen at 50 mm and 4 mm/s for rectangular film specimens (10 cm × 2 cm), respectively. To determine TS and E (%), each test was duplicated at least five times.

Water vapor permeability and oxygen permeability: Water vapor permeability and oxygen permeability were determined according to (Akman, Bozkurt et al. 2021). Glass tubes containing silica gel were heated to 105°C for 24 hours before analysis to remove any moisture. Circular portions of each film sample were cut to seal the tube apertures. These tubes were then weighed and placed in a desiccator with distilled water at 30°C. Glass tubes without film seals served as controllers. The tubes were weighed every two hours for 24 hours. The water vapor permeability (WVP) was determined using the following equation:

$$WVP = \frac{\omega}{\tau} x \frac{x}{\Delta P x A}$$

where w/t was determined by calculating the amount of water absorbed by the system at steady state using linear regression, and x, ΔP, and A stand for mean film thickness (μm), relative pressure difference (kPa), and film area, respectively, at 25 °C.

For oxygen permeability, film samples were used to seal conical tubes containing 20 milliliters of sunflower oil, which were then kept at 60°C for nine days. After this time, sodium thiosulfate titration was used to determine the oil samples' peroxide value. The peroxide value was then used to evaluate the films' oxygen permeability.

Scanning electron microscopy (SEM): The morphological characterization of the films was conducted using a field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) (Zeiss, EVO® LS 10) under vacuum conditions at an accelerating voltage of 5 kV. Prior to imaging, the samples were carefully prepared by mounting them onto an aluminum stub to ensure stable positioning during analysis. To enhance the conductivity of the samples and obtain high-quality microstructural images, they were uniformly coated with a thin layer of gold using a sputter coater. The imaging was performed under a pressure of 300 Pa, and the surface structures of the films were analyzed at a magnification of 3000×.

Differential scanning calorimetry (DSC): Differential scanning calorimetry (DSC Q20, TA Instruments, Inc., USA) was adjusted to measure the thermal behavior of the films in accordance with the (Abdollahi, Alboofetileh et al. 2013) approach. After weighing the film

sample in an aluminum pan, 5 mg was heated at 10 °C per minute from 20 to 300 °C with a 20 mL/min N₂ flow. An empty metal pan served as a reference.

Infrared (FTIR) spectroscopic measurements: An FTIR instrument (Bruker Tensor 27 spectrometer with the DLa TGS detector, Bremen, Germany) was used to undertake molecular characterization of the film samples. The wavelength spectral range of 4000–400 cm⁻¹ was used for the measurements (Mahcene, Khelil et al. 2020).

Antimicrobial activity: The antimicrobial analysis was carried out using methods modified from previous research by (Kopuz, Akman et al. 2024). The pathogens tested were *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Escherichia coli* BC1402, and *Salmonella typhimurium* RSSK95091. It was activated in TSB broth medium and standardized to around 10⁶ CFU/ml. 100 μl of the required bacterial sample concentration was disseminated on TSB agar medium. UV-sterilized film samples (5% protein, 5% crude fiber, and 5% protein + 2.5% crude fiber) were cut into 5x5 mm² pieces and placed on inoculated Petri dishes. A disk with 10 μl of 30 μg/ml chloramphenicol was used as a positive control in each Petri plate.

Statistical evaluation: IMB SPSS 25, a Windows-based statistical analysis tool, was used to perform the statistical analysis. The Tukey test was used to assess the statistical differences between the means at the 95% significant level after a one-way analysis of variance (ANOVA) was carried out. Three separate analyses were carried out.

RESULTS AND DISCUSSION

Thickness and color properties of the films: Color and opacity are critical quality criteria that influence the appearance and transparency of a film. These features have a substantial impact on customer perceptions of food products since brightness and color are frequently connected with food quality (Kumar, Ramakanth et al. 2022). The L*, a*, b*, and thickness values for the generated films are shown in Table 1. The color parameters (L*, a*, b*) of the developed films exhibit significant variations depending on their composition. The L* value, representing lightness, was highest in CF Film (74.95±1.06), indicating a brighter appearance, whereas P Film (63.62±2.87) and P-CF Film (61.36±2.53) showed significantly lower values, suggesting a darker coloration due to protein incorporation. The a* value, which indicates the red-green spectrum, was highest in P Film (9.39±2.33), followed by P-CF Film (6.60±1.83), while CF Film had the lowest redness (0.53±0.22), confirming that protein addition enhances the reddish hue of the films, whereas crude fiber reduces this effect. Similarly, the b* value, representing the yellow-blue spectrum, was highest in P Film (43.71±0.50) and lowest in CF Film

(34.65±3.20), demonstrating that protein incorporation intensifies the yellowish tint, while crude fiber addition leads to a moderate reduction in yellow intensity. These results indicate that protein addition darkens the films and enhances red and yellow tones, whereas crude fiber moderates these effects by maintaining a relatively lighter and less intense color profile. Figure 2 depicts the film matrix's structure. It is evident that P-CF Film and P Film are smoother and more consistent than CF Film.

Table 1 Development and characterization of films from protein and crude fiber obtained from cold-pressed hot pepper oil by-product.

Films	Thickness	Color parameters		
		L*	a*	b*
P Film	0.20±0.01 ^a	63.62±2.87 ^b	9.39±2.33 ^a	43.71±0.50 ^a
P-CF Film	0.17±0.06 ^a	61.36±2.53 ^{bc}	6.60±1.83 ^b	39.66±0.81 ^b
CF Film	0.23±0.02 ^a	74.95±1.06 ^a	0.53±0.22 ^c	34.65±3.20 ^c

P Film: 5% protein film, P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, CF film: 2.5% crude fiber film, a-c the different lowercases within the same column show that the results are significantly different (P < 0.05).

Table 1 reveals that the edible films ranged in thickness from 0.17 to 0.23 mm, and varying concentrations of components such as hot pepper protein isolate and crude fiber resulted in nearly identical film thickness. According to (Rawat and Saini 2024), film thickness is determined by the nature and content of the film. Furthermore, the final thickness of the films is strongly impacted by their preparation and drying techniques (Omar-Aziz, Khodaiyan et al. 2021).

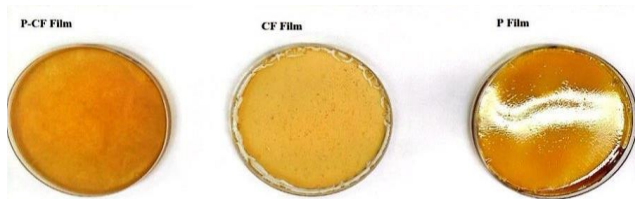


Figure 2. Images of the produced film samples

Mechanical properties of the films

The study's findings clearly show that crude fiber and protein affect the mechanical characteristics of edible films. Table 2 illustrates the weakening effect of polysaccharide fibers and other additives on film mechanical strength. It shows that both P-CF film (0.34±0.01 MPa) and CF film (0.07±0.00 MPa) exhibit significantly lower values compared to the P film (0.46±0.00 MPa). The P-CF film has the largest elongation at break (E) (%34.88±0.17), while other films have lower values. These findings indicate that hot pepper protein and crude fiber can improve the flexibility of film structures, thereby broadening their applications.

Table 2. Mechanical and barrier properties of films

Films	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	WVP (g mm h ⁻¹ m ⁻² kPa ⁻¹)	PV (meq/kg)
Blank				73.13±5.54 ^a
P Film	0.46±0.00 ^a	33.76±1.88 ^{ab}	3.94±0.54 ^a	55.94±4.55 ^b
P-CF Film	0.34±0.01 ^b	34.88±0.17 ^a	2.84±0.27 ^b	23.79±4.48 ^d
CF Film	0.07±0.00 ^c	23.09±0.21 ^c	4.06±0.75 ^a	44.88±6.10 ^c

P Film: 5% protein film, P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, CF film: 2.5% crude fiber film, a-c the different lowercases within the same column show that the results are significantly different (P < 0.05).

Tensile properties are generally affected by the components, relative concentration and processing of the film. Films with higher tensile strength typically have lower elongation at break values. According to our research, the film's tensile strength gradually decreased when CF was added. P Film had the maximum tensile strength (0.46 MPa), whereas P-CF Film had the highest elongation value (34.88%). These results suggest that CF functions as a film matrix plasticizer by forming hydrogen bonds with protein molecules (Kamari and Phillip 2018, Yan, He et al. 2023). Thus, crude fiber reduces the tensile strength by expanding the pores in the film matrix. A study showed that the major factors impacting the tensile strength of films were pectin (P), alginate (A), and pectin whey protein (Homthawornchoo, Han et al.) interaction; P and A increased, while P/WP interaction decreased the tensile strength value. Tensile strength was somewhat reduced by interactions between A and WP. Similar results were seen for elastic modulus (E), where the linear interaction between A/WP and P/WP decreased the value while P and A raised it (Chakravartula, Soccio et al. 2019). Similarly, protein alone raised tensile strength and elongation values, whereas crude fiber interaction decreased them.

According to the (Kocira, Kozłowicz et al. 2021, Zhu 2021) adding polysaccharides and bioactive substances to film formulations can have a major effect on the mechanical characteristics of the film, especially lowering its tensile strength. This work is a significant step in improving the mechanical characteristics of edible films and creating more robust and flexible materials for uses like food packaging.

Barrier properties of the films: Water vapor permeability (WVP), one of the film's barrier qualities, should be the lowest (Qin, Liu et al. 2020). Recently, several natural components have been added to edible films in order to improve their physical and functional features and broaden their applications in food packaging (Ghanbarzadeh and Oromiehi 2008, Sani, Geshlaghi et al. 2021, Zhu 2021). At a temperature of 25°C, the WVP values of films supplemented with varying amounts of protein and fiber were measured. The range of WVP values was 2.84 to 4.06 g√mm/m² h√kPa. Table 2 demonstrates that films with both protein and fiber had WVP values that were considerably lower than films with either protein or fiber alone (p<0.05). The considerable decrease in water vapor permeability in hot pepper protein and fiber combinations is attributed to hydrogen bonding and other intermolecular interactions between the protein and fiber. The hydroxyl groups in the protein and fiber that display hydrophilic qualities may be reduced by newly created hydrogen bonds, which would lower the protein-fiber films affinity for water vapor (Qin, Liu et al. 2019). Several factors influence the permeability and diffusion of gases through polymeric films, including the

type of polymer, the film's physical characteristics, film thickness, filler material content, and outside variables such relative humidity and temperature (Kopuz, Akman et al. 2024).

The O2P values of the films are shown as peroxide values (PV) in Table 2. Compared to the blank film with a PV value of 73.13 meq/kg, the PV values of the films ranged from 23.79 to 55.94 meq/kg. The addition of protein and crude fiber significantly improved the oxygen permeability of the films ($P < 0.05$). The increase in oxygen permeability (O2P) by adding only protein and crude fiber to the films may be due to several factors. According to (Kocira, Kozłowicz et al. 2021) is that the incorporation of these components may create a more porous film structure, allowing for greater diffusion of oxygen molecules. Additionally, the hydrophilic nature of proteins and fibers could attract and retain moisture, which in turn can disrupt the film matrix and facilitate the passage of oxygen. In addition, the hydrophilic nature of proteins and fibers may attract and retain moisture, which may disrupt the film matrix and facilitate the passage of oxygen. Furthermore, the increase in oxygen permeability (O2P) may be attributed to the deterioration of the structural integrity of the film due to the heterogeneous distribution of protein and fiber particles,

which may create microvoids or channels (Pajak, Fortune et al. 2013).

SEM: The permeability and mechanical properties of the film matrix can be influenced by its structure, shape, and homogeneity. The surface microstructure of the generated films is displayed in Figure 3. Compared to other films, the P-CF Film has a smoother surface. Additionally, the P Film has a continuous matrix, great morphological integrity, and a generally flat surface. The CF and P-CF Films, on the other hand, have a rough surface microstructure with few pores and indentations (Figure 3). As mentioned, the patterns displayed by the P-CF and P films differ from those of the CF films. Specifically, the P Film displays an uneven matrix with irregular wrinkles, indicating protein aggregation due to limited compatibility induced by its more hydrophobic nature, in contrast to the CF Films' very hydrophilic nature. (Jiang, Zou et al. 2020) discovered comparable outcomes for composite films containing carboxymethyl chitosan and whey protein concentrate. SEM analysis revealed that these films exhibited a more uniform and homogeneous structure, likely due to the plasticizing effect of protein, which improved the film matrix. The CF Film, in contrast, showed a rougher and less cohesive surface, likely due to the fibrous nature of crude fiber, which may have led to phase separation.

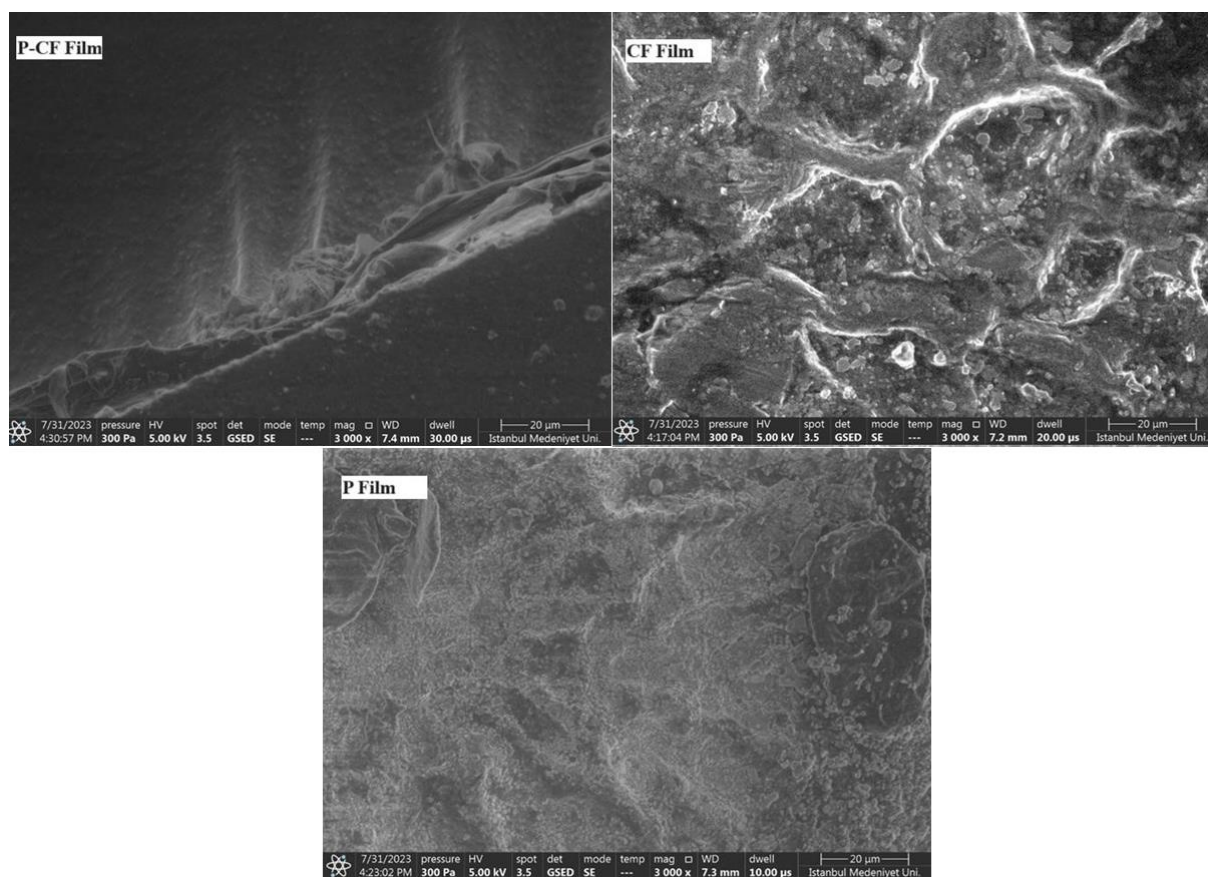


Figure 3 The surface (P Film: 5% protein film, P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, CF film: 2.5% crude fiber film) of the composite films of the scanning electron microscopy morphologies.

DSC

DSC analysis was used to determine the impact of protein interaction with crude fiber on thermal properties. Table 3 illustrates how protein and fiber combinations affect the melting temperatures and fusion enthalpies of the films. The results showed that the melting temperatures of the P Film, P-CF Film, and CF Film were 53.67 °C, 67.42 °C, and 79.78 °C, respectively. These numbers show that the protein and fiber combination considerably changes the films' thermal characteristics. In particular, the P-CF film's lower melting point indicates that protein-fiber molecular interactions weaken the film's stability, which lowers its thermal stability. One crucial factor in assessing the film's thermal stability is its denaturation temperature (Td). The temperature at which a film changes from being brittle to being soft and rubbery is denoted by Td. The material possesses a glassy structure at temperatures below Td and a rubbery state at temperatures over Td. In a related investigation, the Td values for the Zein and SPI (soy protein isolate) films were 77 °C and 86 °C, respectively, while the Td value for the WGP (wheat gluten protein) film was the highest at 106 °C (Duan, Zhou et al. 2023). These results demonstrate that the hydrophilic properties of proteins significantly impact thermal stability. More water molecules may be drawn into the film matrix by a hydrophilic structure, increasing inter-chain mobility and lowering the Td value of the film. Protein and fiber combinations decreased the thermal stability of the films, making them less durable. These findings are important for optimizing the structure and performance of protein films. The "free volume theory", which explains the decrease in hydroxyl groups and hydrogen bonds with the addition of protein, can be used to explain this behavior. Tg and Tm fall as a result of this process, which weakens the biopolymer structure and increases molecular motions. This increases intermolecular free space (Sadeghi-Varkani, Emam-Djomeh et al. 2018).

Table 3. Thermal behavior of the films.

Films	T _m (°C)	ΔH _m (J/g)	T _d (°C)
P Film	53.67±0.07 ^b	82.91±0.05 ^b	254.56±0.10 ^a
P-CF Film	67.42±0.04 ^c	42.41±0.10 ^c	234.25±0.14 ^a
CF Film	79.78±0.06 ^a	231.14±0.02 ^a	229.51±0.20 ^a

P Film: 5% protein film, P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, CF film: 2.5% crude fiber film, a-c the different lowercases within the same column show that the results are significantly different (P < 0.05).

FTIR: FTIR spectroscopy was used to examine the molecular structure of the film samples, and the results are shown in Figure 4. All film samples showed very identical spectrum characteristics. FTIR spectroscopy is well recognized as a valuable method for investigating protein structural changes and the cross-linkages connecting polysaccharides and protein amino groups. The films showed absorption bands between 3000-3600 cm⁻¹, indicating the presence of -OH groups and hydrogen

bonding among water molecules crude fiber strands (Karydis-Messinis, Kyriakaki et al. 2024). The absorption bands at 1629 cm⁻¹, 1535 cm⁻¹, and 1400 cm⁻¹ correspond to C=O stretching (amide I), N-H bending (amide II), and N-H bending (amide III), respectively, serving as critical indicators for assessing the secondary structures of proteins.

The FTIR spectra of P-CF films show a modest decrease in peak strength at 1628 cm⁻¹, 1538 cm⁻¹, and 1400 cm⁻¹, indicating the creation of secondary structures in the processed films. This suggests that structural changes occurred during film processing. These results are consistent with findings from other studies in the literature, demonstrating the utility of FTIR spectroscopy in understanding the structural characteristics of films (Fernández, Ausar et al. 2003, Ma, Xin et al. 2017, Karydis-Messinis, Moschovas et al. 2023).

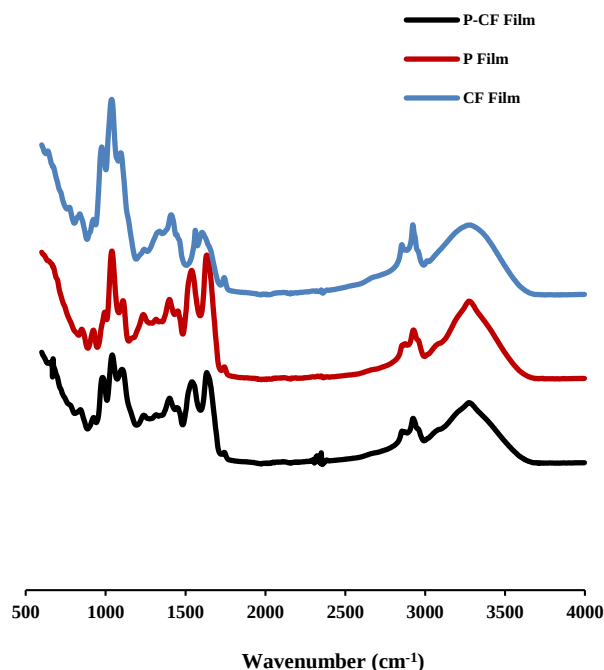


Figure 4. Fourier transform infrared spectra of protein-crude fiber containing composite films. (P Film: 5% protein film, b: CF film: 5% crude fiber film, c: P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film).

Antimicrobial activity: The antibacterial activity of the produced films was determined using the disc diffusion method. This approach is extensively used to evaluate the antibacterial characteristics of food packaging materials (Noori, Khanjari et al. 2021). Edible composite films incorporating bioactive chemicals with antibacterial capabilities are more widely used and effective than other packaging materials (Hematizad, Khanjari et al. 2021).

In Table 4, the results show that films containing 5% protein and 5% protein + 2.5% crude fiber have equal inhibitory effects for both *Staphylococcus aureus* ATCC25923 and *Escherichia coli* BC1402. However,

against *Salmonella typhimurium* RSSK95091, the film containing 5% protein had a much greater inhibitory effect than the film containing 5% protein + 2.5% crude fiber (Figure 5). The film containing 5% crude fiber did not show antibacterial effects against any of the three pathogens tested. Protein-based films have reduced microbial contamination by interfering with microorganisms' cell division, lowering cell viability and halting proliferation.

Table 4. Antimicrobial activity of the films.

Bacteria	Inhibition circle diameter (Avci et al.)			
	P Film	CF Film	P-CF Film	Chloramphenicol
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC25923	3.13±0.047 ^b	0	3.03±0.047 ^b	4.13±0.094 ^a
<i>Escherichia coli</i> BC1402	3.06±0.124 ^b	0	3.16±0.047 ^b	4.08±0.062 ^a
<i>Salmonella typhimurium</i> RSSK95091	3.50±0.040 ^b	0	3.06±0.047 ^c	4.06±0.023 ^a

P Film: 5% protein film, P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, CF film: 2.5% crude fiber film, a-c different lowercase letters on the same line indicate that the results are significantly different (P < 0.05)

The lack of antibacterial activity in crude fiber-based films could be attributed to the absence of specialized antimicrobial processes found in protein-based films. Protein-based films include bioactive chemicals or peptides that can target and disrupt bacterial cell membranes, effectively suppressing bacterial growth (Fiorentini, Suarato et al. 2021, Yan, He et al. 2023).

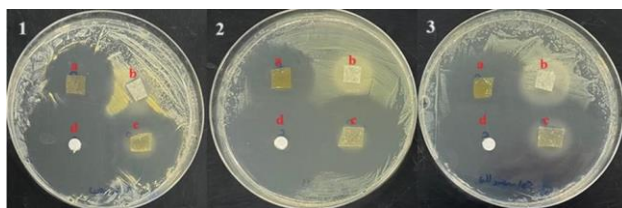


Figure 5. Petri 1: *Staphylococcus aureus* ATCC25923, Petri 2: *Escherichia coli* BC1402, Petri 3: *Salmonella typhimurium* RSSK95091, a: P Film: 5% protein film, b: CF film: 5% crude fiber film, c: P-CF film: 5% protein and 2.5 crude fiber film, d: chloramphenicol.

CONCLUSION

This study introduces an innovative approach for creating antimicrobial edible films using proteins and crude fibers extracted from cold-pressed hot pepper seed oil by-products. The films were categorized into three types: P Film (5% protein), P-CF Film (5% protein and 2.5% crude fiber), and CF Film (5% crude fiber), and were thoroughly evaluated for their structural, mechanical, barrier, and antimicrobial properties. The structural analysis revealed that P and P-CF Films exhibited smoother surfaces compared to CF Film. Mechanical tests indicated that P Film had the highest tensile strength (0.46 MPa) and elongation at break (33.76%), while P-CF Film showed more flexibility. Films with both protein and crude fiber had higher oxygen permeability and lower water vapor permeability than those with either protein or fiber, according to barrier characteristics. Differential scanning calorimetry demonstrated that the combination of protein

and fiber resulted in reduced melting temperatures, suggesting diminished thermal stability. Further insights into the films' structures were provided by scanning electron microscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy. Antimicrobial testing confirmed that both P Film and P-CF Film were effective against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, with P Film showing superior inhibition against *Salmonella typhimurium*. However, there are limitations to consider. The reduced thermal stability due to the combination of protein and fiber may restrict the films' use in high-temperature applications. While protein-based films exhibited higher tensile strength, the inclusion of crude fiber led to decreased tensile strength, indicating a trade-off that requires further investigation. Additionally, although the films were effective against certain pathogens, their antimicrobial efficacy varied, with the 5% protein film showing particularly strong inhibition against *Salmonella typhimurium*. Future research should focus on enhancing the thermal stability of the films by incorporating stabilizers or exploring alternative processing techniques. Additionally, optimizing the balance between mechanical properties and performance by experimenting with different ratios of protein and fiber or additional additives would be beneficial. Overall, this study successfully demonstrates the potential of using protein and crude fiber from pepper seed oil by-products for antimicrobial edible films, providing a sustainable alternative to conventional packaging materials. Future studies should focus on optimizing the formulation of these edible films to enhance their mechanical and barrier properties while ensuring consumer acceptability, sensory quality, and compatibility with various food products. Additionally, real-time storage studies and consumer perception analysis would be valuable in assessing their commercial viability and practical application in food packaging.

REFERENCES

- Abdollahi, M., Alboofetileh, M., Rezaei, M. & Behrooz, R. (2013). Comparing physico-mechanical and thermal properties of alginate nanocomposite films reinforced with organic and/or inorganic nanofillers. *Food Hydrocolloids*, 32(2), 416-424. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.02.006
- Akman, P. K., Bozkurt, F., Dogan, K., Tornuk, F. & Tamturk, F. (2021). Fabrication and characterization of probiotic *Lactobacillus plantarum* loaded sodium alginate edible films. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 84-92.
- Alipour, A., Rahaiee, S., Litkahi, H.R., Jamali, S.N., & Jafari, S.M. (2023). Development and optimization of whey protein-Lepidium perfoliatum gum packaging films: An approach towards antimicrobial and biodegradable films.

- Industrial Crops and Products*, **196**, 116447. DOI: [10.1016/j.indcrop.2023.116447](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116447)
- 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)
- Brito, T., Carrajola, J., Gonçalves, E., Martelli-Tosi, M. & Ferreira, M. (2019). Fruit and vegetable residues flours with different granulometry range as raw material for pectin-enriched biodegradable film preparation. *Food Research International*, **121**, 412-421. DOI: [10.1016/j.foodres.2019.03.058](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.03.058)
- Capar, T.D. (2023). Characterization of sodium alginate-based biodegradable edible film incorporated with Vitis vinifera leaf extract: Nano-scaled by ultrasound-assisted technology. *Food Packaging and Shelf Life*, **37**, 101068.
- Chakravartula, S.S.N., Soccio, M., Lotti, N., Balestra, F., Dalla Rosa, M. & Siracusa, V. (2019). Characterization of Composite Edible Films Based on Pectin/Alginate/Whey Protein Concentrate. *Materials*, **12**(15), 2454. DOI: [10.3390/ma12152454](https://doi.org/10.3390/ma12152454)
- Dai, Q., Huang, X., Jia, R., Fang, Y. & Qin, Z. (2022). Development of antibacterial film based on alginate fiber and peanut red skin extract for food packaging. *Journal of Food Engineering*, **330**, 111106. DOI: [10.1016/j.jfoodeng.2022.111106](https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111106)
- Domínguez, R., Barba, F.J., Gómez, B., Putnik, P., Kovačević, D.B., Pateiro, M. & Lorenzo, J.M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*, **113**, 93-101. DOI: [10.1016/j.foodres.2018.06.073](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073)
- Duan, J., Zhou, Q., Fu, M., Cao, M., Jiang, M., Zhang, L. & Duan, X. (2023). Research on Properties of Edible Films Prepared from Zein, Soy Protein Isolate, Wheat Gluten Protein by Adding Beeswax. *Food and Bioprocess Technology*, **16**(11), 2443-2454. DOI: [10.1007/s11947-023-03077-2](https://doi.org/10.1007/s11947-023-03077-2)
- Fernández, C., Ausar, S.F., Badini, R.G., Castagna, L. F., Bianco, I.D. & Beltramo, D. M. (2003). An FTIR spectroscopy study of the interaction between α -casein-bound phosphoryl groups and chitosan. *International Dairy Journal*, **13**(11), 897-901. DOI: [10.1016/S0958-6946\(03\)00115-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00115-8)
- Fiorentini, F., Suarato, G., Grisoli, P., Zych, A., Bertorelli, R. & Athanassiou, A. (2021). Plant-based biocomposite films as potential antibacterial patches for skin wound healing. *European Polymer Journal*, **150**, 110414. DOI: [10.1016/j.eurpolymj.2021.110414](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110414)
- Galus, S. & Kadzińska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, **45**(2), 273-283. DOI: [10.1016/j.tifs.2015.07.011](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.011)
- Ghanbarzadeh, B. & Oromiehi, A. (2008). Biodegradable biocomposite films based on whey protein and zein: Barrier, mechanical properties and AFM analysis. *International Journal of Biological Macromolecules*, **43**(2), 209-215. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2008.05.006](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.05.006)
- Hadidi, M., Jafarzadeh, S., Forough, M., Garavand, F., Alizadeh, S., Salehabadi, A. & Jafari, S.M. (2022). Plant protein-based food packaging films; recent advances in fabrication, characterization and applications. *Trends in Food Science & Technology*, **120**, 154-173. DOI: [10.1016/j.tifs.2022.01.013](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.013)
- Hematizad, I., Khanjari, A., Basti, A.A., Karabagias, I.K., Noori, N., Ghadami, F., . . . & Teimourifard, R. (2021). In vitro antibacterial activity of gelatin-nanochitosan films incorporated with Zataria multiflora Boiss essential oil and its influence on microbial, chemical and sensorial properties of chicken breast meat during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, **30**, 100751. DOI: [10.22059/jvr.2022.337641.3231](https://doi.org/10.22059/jvr.2022.337641.3231)
- Homthawornchoo, W., Han, J., Kaewprachu, P., Romruen, O. & Rawdkuen, S. (2022). Green tea extract enrichment: mechanical and physicochemical properties improvement of rice starch-pectin composite film. *Polymers*, **14**(13), 2696. DOI: [10.3390/polym14132696](https://doi.org/10.3390/polym14132696)
- Huang, Y., Xiang, X., Luo, X., Li, X., Yu, X. & Li, S. (2021). Study on the emulsification and oxidative stability of ovalbumin-pectin-pumpkin seed oil emulsions using ovalbumin solution prepared by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, **78**, 105717. DOI: [10.1016/j.ultsonch.2021.105717](https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105717)
- Jeon, Y.J., Lee, H. & Min, S.C. (2023). Effects of in-package atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the antimicrobial efficacy of whey protein isolate-based edible films that incorporate malic acid against Salmonella in chicken breast processed meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **85**, 103339. DOI: [10.1016/j.ifset.2023.103339](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103339)
- Jiang, S., Zou, L., Hou, Y., Qian, F., Tuo, Y., Wu, X. & Mu, G. (2020). The influence of the addition of transglutaminase at different phase on the film and film forming characteristics of whey protein concentrate-carboxymethyl chitosan composite films. *Food Packaging and Shelf Life*, **25**, 100546. DOI: [10.1016/j.fpsl.2020.100546](https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100546)
- Kamari, A. & Phillip, E. (2018). Chitosan, gelatin and methylcellulose films incorporated with tannic acid for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, **120**, 1119-1126. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2018.08.169](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.169)
- Kandasamy, S., Yoo, J., Yun, J., Kang, H.B., Seol, K.H., Kim, H.W. & Ham, J.S. (2021). Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview. *Coatings*, **11**(9), 1056. DOI: [10.3390/coatings11091056](https://doi.org/10.3390/coatings11091056)

- Karaaslan, M., Şengün, F., Cansu, Ü., Başıyigit, B., Sağlam, H. & Karaaslan, A. (2021). Gum arabic/maltodextrin microencapsulation confers peroxidation stability and antimicrobial ability to pepper seed oil. *Food Chemistry*, **337**, 127748. DOI: [10.1016/j.foodchem.2020.127748](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127748)
- Karydis-Messinis, A., Kyriakaki, C., Triantafyllou, E., Tsirka, K., Gioti, C., Gkikas, D. & Avgeropoulos, A. (2024). Development and Physicochemical Characterization of Edible Chitosan-Casein Hydrogel Membranes for Potential Use in Food Packaging. *Gels*, **10**(4), 254. DOI: [10.3390/gels10040254](https://doi.org/10.3390/gels10040254)
- Karydis-Messinis, A., Moschovas, D., Markou, M., Gkantou, E., Vasileiadis, A., Tsirka, K. & Murphy, C. (2023). Development, physicochemical characterization and in vitro evaluation of chitosan-fish gelatin-glycerol hydrogel membranes for wound treatment applications. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, **6**, 100338. DOI: [10.20944/preprints202402.0173.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202402.0173.v1)
- Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E. & Horthyńska, P. (2021). Polysaccharides as Edible Films and Coatings: Characteristics and Influence on Fruit and Vegetable Quality-A Review. *Agronomy*, **11**(5), 813. DOI: [10.3390/agronomy11050813](https://doi.org/10.3390/agronomy11050813)
- Kopuz, S., Akman, P.K., Tekin-Cakmak, Z.H. & Karasu, S. (2024). Development and characterization of antimicrobial films from gums obtained from cold-pressed flaxseed oil by-product. *Polymer Bulletin*, **81**(2), 1767-1787. DOI: [10.1007/s00289-023-04793-7](https://doi.org/10.1007/s00289-023-04793-7)
- Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K. & Gaikwad, K.K. (2022). Edible films and coatings for food packaging applications: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-26. DOI: [10.1007/s10311-021-01339-z](https://doi.org/10.1007/s10311-021-01339-z)
- Kumar, S., Konwar, J., Purkayastha, M.D., Kalita, S., Mukherjee, A. & Dutta, J. (2023). Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction. *International Journal of Biological Macromolecules*, **239**, 124332. DOI: [10.1007/s10311-021-01339-z](https://doi.org/10.1007/s10311-021-01339-z)
- Ma, Y., Xin, L., Tan, H., Fan, M., Li, J., Jia, Y. & Hu, X. (2017). Chitosan membrane dressings toughened by glycerol to load antibacterial drugs for wound healing. *Materials Science and Engineering: C*, **81**, 522-531. DOI: [10.1016/j.msec.2017.08.052](https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.08.052)
- Mahcene, Z., Khelil, A., Hasni, S., Akman, P.K., Bozkurt, F., Birech, K. & Tornuk, F. (2020). Development and characterization of sodium alginate based active edible films incorporated with essential oils of some medicinal plants. *International Journal of Biological Macromolecules*, **145**, 124-132. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2019.12.093](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.093)
- Mercadal, P.A., Picchio, M.L. & González, A. (2024). Food-protecting films based on soy protein isolate and natural deep eutectic solvents: Antimicrobial and antioxidant properties. *Food Hydrocolloids*, **147**, 109414. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2023.109414](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109414)
- Mohamed, S.A., El-Sakhawy, M. & El-Sakhawy, M.A.M. (2020). Polysaccharides, protein and lipid-based natural edible films in food packaging: A review. *Carbohydrate polymers*, **238**, 116178. DOI: [10.1016/j.carbpol.2020.116178](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178)
- Nguyen, T.T., Pham, B.T.T., Le, H.N., Bach, L.G. & Thuc, C.H. (2022). Comparative characterization and release study of edible films of chitosan and natural extracts. *Food Packaging and Shelf Life*, **32**, 100830. DOI: [10.2139/ssrn.3931690](https://doi.org/10.2139/ssrn.3931690)
- Noori, N., Khanjari, A., Rezaeigolestani, M., Karabagias, I.K. & Mokhtari, S. (2021). Development of antibacterial biocomposites based on poly (lactic acid) with spice essential oil (Pimpinella anisum) for food applications. *Polymers*, **13**(21), 3791. DOI: [10.3390/polym13213791](https://doi.org/10.3390/polym13213791)
- Omar-Aziz, M., Khodaiyan, F., Yarmand, M.S., Mousavi, M., Gharaghani, M., Kennedy, J.F. & Hosseini, S.S. (2021). Combined effects of octenylsuccination and beeswax on pullulan films: Water-resistant and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, **255**, 117471. DOI: [10.1016/j.carbpol.2020.117471](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117471)
- Pajak, P., Fortune, T. & Przetacsek-Roznowska, I. (2013). Protein and Polysaccharide Based Edible Packagings: Profile and Applications. *Zywnosc-Nauka Technologia Jakosc*, **20**(2), 5-18. DOI: [10.15193/zntj/2013/87/005-018](https://doi.org/10.15193/zntj/2013/87/005-018)
- Qin, Y., Liu, Y., Yuan, L., Yong, H. & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids*, **96**, 102-111. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2019.05.017](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.017)
- Qin, Y., Liu, Y., Zhang, X. & Liu, J. (2020). Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (Hylocereus polyrhizus) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, **100**, 105410. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2019.105410](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410)
- Rawat, R. & Saini, C.S. (2024). A novel biopolymeric composite edible film based on sunnhemp protein isolate and potato starch incorporated with clove oil: Fabrication, characterization and amino acid composition. *International Journal of Biological Macromolecules*, **268**, 131940. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2024.131940](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.131940)
- Sadeghi-Varkani, A., Emam-Djomeh, Z. & Askari, G. (2018). Physicochemical and microstructural properties of a novel edible film synthesized from Balangu seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, **108**, 1110-1119. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2017.11.029](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.029)

- Sandoval-Castro, C.J., Valdez-Morales, M., Oomah, B.D., Gutiérrez-Dorado, R., Medina-Godoy, S. & Espinosa-Alonso, L.G. (2017).** Bioactive compounds and antioxidant activity in scalded Jalapeño pepper industrial byproduct (*Capsicum annuum*). *Journal of Food Science and Technology*, **54**, 1999-2010. DOI: [10.1007/s13197-017-2636-2](https://doi.org/10.1007/s13197-017-2636-2)
- Sani, I.K., Geshlaghi, S.P., Pirs, S. & Asdaghi, A. (2021).** Composite film based on potato starch/apple peel pectin/ZrO₂ nanoparticles/microencapsulated Zataria multiflora essential oil; investigation of physicochemical properties and use in quail meat packaging. *Food Hydrocolloids*, **117**, 106719. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2021.106719](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106719)
- Seydim, A. & Sarikus, G. (2006).** Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International*, **39**(5), 639-644. DOI: [10.1016/j.foodres.2006.01.013](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.013)
- Sood, A. & Saini, C. (2022).** Red pomelo peel pectin based edible composite films: Effect of pectin incorporation on mechanical, structural, morphological and thermal properties of composite films. *Food Hydrocolloids*, **123**, 107135. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2021.107135](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107135)
- Soukoulis, C., Behboudi-Jobbehdar, S., Macnaughtan, W., Parmenter, C. & Fisk, I.D. (2017).** Stability of *Lactobacillus rhamnosus* GG incorporated in edible films: Impact of anionic biopolymers and whey protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, **70**, 345-355. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2017.04.014](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.04.014)
- Tornuk, F., Sagdic, O., Hancer, M. & Yetim, H. (2018).** Development of LLDPE based active nanocomposite films with nanoclays impregnated with volatile compounds. *Food Research International*, **107**, 337-345. DOI: [10.1016/j.foodres.2018.02.036](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.036)
- Wang, H., Ding, F., Ma, L. & Zhang, Y. (2021).** Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Bioscience*, **40**, 100871. DOI: [10.1016/j.fbio.2020.100871](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100871)
- Yan, J., He, S., Chen, L., Chen, H. & Wang, W. (2023).** Characterization, antioxidant and antibacterial activities of gelatin-chitosan edible coated films added with *Cyclocarya paliurus* flavonoids. *International Journal of Biological Macromolecules*, **253**, 127664. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2023.127664](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127664)
- Ye, Q., Han, Y., Zhang, J., Zhang, W., Xia, C. & Li, J. (2019).** Bio-based films with improved water resistance derived from soy protein isolate and stearic acid via bioconjugation. *Journal of cleaner production*, **214**, 125-131. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.12.277](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.277)
- Zhu, F. (2021).** Polysaccharide based films and coatings for food packaging: Effect of added polyphenols. *Food Chemistry*, **359**, 129871. DOI: [10.1016/j.foodchem.2021.129871](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129871)



Investigation of the Presence and Antimicrobial Susceptibilities of *Corynebacterium pseudotuberculosis* in Subclinical Mastitis in Cattle Raised in the Aegean Region

Çağatay NUHAY*

Department of Bacteriology, İzmir Bornova Veterinary Control Institute, , 35040, İzmir, Türkiye

Received: 29.01.2025

Accepted: 14.03.2025

Published: 25.03.2025

How to cite: Nuhay, Ç. (2025). Investigation of the Presence and Antimicrobial Susceptibilities of *Corynebacterium pseudotuberculosis* in Subclinical Mastitis in Cattle Raised in the Aegean Region. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(2), 202-207. <https://doi.org/10.35229/jaes.1629149>

Atıf yapmak için: Nuhay, Ç. (2025). Ege Bölgesinde Yetiştirilen Subklinik Mastitisli Sığırlarda *Corynebacterium pseudotuberculosis* Varlığının Araştırılması ve Antimikrobiyal Duyarlılıkların Belirlenmesi. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(2), 202-207. <https://doi.org/10.35229/jaes.1629149>

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1475-3041>

***Corresponding author's:**

Çağatay NUHAY
Department of Bacteriology, İzmir Bornova
Veterinary Control Institute, , 35040, İzmir,
Türkiye
✉: cnuhay@gmail.com

Abstract: This study aims to investigate the presence of *Corynebacterium pseudotuberculosis* and its antimicrobial susceptibility in cattle with subclinical mastitis in the Aegean Region. In 2024, 200 milk samples were collected from dairy farms in the region where subclinical mastitis was identified using the California Mastitis Test. The samples were analyzed through culture, Gram staining, and biochemical testing. Suspected isolates were confirmed using the VITEK 2 system and molecularly identified by PCR targeting the PIP gene. Antimicrobial susceptibility was assessed via the Kirby-Bauer Disk Diffusion Method. Seven *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolates were identified in the analysis. Antimicrobial susceptibility tests showed 71% sensitivity to enrofloxacin and gentamicin, 57% to amoxicillin-clavulanic acid, and 43% to oxytetracycline. In conclusion, although the detection rate of *Corynebacterium pseudotuberculosis* was low, it remains a significant pathogen in cattle with subclinical mastitis. Further studies on antibiotic resistance are essential for developing effective treatment strategies.

Keywords: Antimicrobial resistance, cattle, *Corynebacterium pseudotuberculosis*, PCR, subclinical mastitis.

Ege Bölgesinde Yetiştirilen Subklinik Mastitisli Sığırlarda *Corynebacterium pseudotuberculosis* Varlığının Araştırılması ve Antimikrobiyal Duyarlılıkların Belirlenmesi

Öz: Bu çalışmanın amacı, Ege Bölgesi'nde subklinik mastitisli sığırlarda *Corynebacterium pseudotuberculosis* varlığını ve bu bakterinin antimikrobiyal duyarlılığını araştırmaktır. 2024 yılında Ege Bölgesi'ndeki süt çiftliklerinden, California Mastitis Testi ile subklinik mastitis saptanan 200 süt örneği toplandı. Örnekler kültür, Gram boyama ve biyokimyasal testlerle analiz edildi. Şüpheli izolatlar, VITEK 2 sistemi kullanılarak doğrulandı ve PIP geni için PCR ile moleküler olarak tanımlandı. İzolatların antimikrobiyal duyarlılığı Kirby-Bauer Disk Difüzyon Yöntemi ile değerlendirildi. Yapılan analizlerde 7 adet *Corynebacterium pseudotuberculosis* izolatu tespit edildi. Antibiyogram sonuçlarına göre izolatların enrofloksasin ve gentamisine %71, amoksisilin-klavulanik aside %57, oksitetrasikline %43 duyarlı olduğu belirlendi. Sonuç olarak, *Corynebacterium pseudotuberculosis* düşük tespit oranlarına sahip olmasına rağmen subklinik mastitisli sığırlarda önemli bir patojen olarak değerlendirilmiştir. Antibiyotik direnci ile ilgili daha fazla çalışma yapılması, etkili tedavi stratejileri geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

***Sorumlu yazar:**

Çağatay NUHAY
Bakteriyoloji Anabilim Dalı, İzmir Bornova
Veteriner Kontrol Enstitüsü, , 35040, İzmir,
Türkiye
✉: cnuhay@gmail.com

Anahtar kelimeler: Antimikrobiyal direnç, PCR, sığır, subklinik mastitis, *Corynebacterium pseudotuberculosis*

INTRODUCTION

Mastitis is an infectious disease of the mammary glands in mammals caused by various microorganisms, characterized by inflammation and pus formation. As a significant health issue in lactating animals, mastitis leads to a decrease in milk production, alterations in milk composition, and complications that can result in death if left untreated. This disease, commonly observed in dairy cattle farming, is reported to cause one of the largest economic losses in the industry (Dufour et al., 2019; İlhan, 2018; Sharun et al., 2021).

Mastitis is classified into clinical and subclinical forms based on its progression (Schukken et al., 2014). Visible changes in milk, such as clots, flakes, serum, or even blood, are the primary indicators of clinical mastitis. Whether the disease manifests as clinical or subclinical is generally determined by the type and strain of the pathogen. One of the main reasons mastitis causes significant economic losses is its tendency to progress predominantly in a subclinical form (Gökdağ & Çiftci, 2021; Reyher et al., 2011, Savasan et al., 2023). One of the subclinical mastitis agents in cattle is *C. pseudotuberculosis* (Yeruham et al., 1996). Additionally, *Corynebacterium bovis*, *Corynebacterium mastitis*, *Corynebacterium amycolatum*, *Corynebacterium minutissimum*, and *Corynebacterium ulcerans* have also been reported to cause mastitis in livestock (Hadimli et al., 2006).

This study aims to investigate the presence of *C. pseudotuberculosis* and determine its antimicrobial susceptibility in milk samples collected from subclinical mastitis cattle raised in the Aegean Region.

MATERIAL AND METHOD

The study material consisted of 200 milk samples collected in 2024 from dairy cattle farms operating in the Aegean Region, where subclinical mastitis was detected using the California Mastitis Test. The samples, transported to the laboratory under a cold chain, were inoculated onto Columbia Agar (5% sheep blood, Liofilchem) and incubated at 37°C for 24-48 hours. Following the incubation period, small, white, dry, and easily disintegrating colonies were Gram-stained. Gram-positive small coccobacilli were selected and subcultured. Colonies testing positive for catalase and negative for oxidase in biochemical tests were identified as *C. pseudotuberculosis* suspects and confirmed using the CBC diagnostic kit designed for the VITEK 2 (bioMérieux) system.

The molecular diagnostic method was used for the identification of *C. pseudotuberculosis*. The DNA extractions of isolates identified as *C. pseudotuberculosis*

were performed using a commercial DNA extraction kit (High Pure PCR Template Preparation Kit, Roche). Molecular confirmation was carried out using primers specific to the PIP gene of *C. pseudotuberculosis* (PIP F: 5'-AACTGCGGCTTTCTTTATTC-3'; PIP R: 5'-GACAAGTGGGAACGGTATCT-3') (D'Afonseca et al., 2010).

PCR mixtures (12.5 µL Xpert Fast Hotstart Mastermix (2×, GRiSP), 2 µL forward primer, 2 µL reverse primer, and 3.5 µL water) underwent amplification under the following conditions: an initial denaturation at 94°C for 3 minutes, followed by 40 cycles of 94°C for 15 seconds (denaturation), 54°C for 30 seconds (annealing), and 72°C for 15 seconds (extension), with a final extension at 72°C for 3 minutes. PCR reactions were performed using the Techne TC-412 thermal cycler (Keison Products) with Xpert Fast Hotstart Mastermix (2×, GRiSP) as the master mix. (D'Afonseca et al., 2010).

Antimicrobial susceptibilities of the obtained *C. pseudotuberculosis* isolates were determined by Kirby-Bauer Disk Diffusion Method. A 0.5 McFarland suspension was prepared from the isolates in fresh cultures in physiological saline, transferred to Mueller Hinton Agar (MHA) and left for incubation. For antimicrobial susceptibility testing, tetracycline (30 µg, Oxoid), oxytetracycline (30 µg, Bioanalyse), enrofloxacin (5 µg, Bioanalyse), ampicillin/sulbactam (10/10 µg) (Bioanalyse), amoxicillin/clavulanic acid (2/1) (30 µg, Oxoid), trimethoprim/sulfamethoxazole (1.25 µg/23.75 µg) and gentamicin (10 µg, Oxoid) disks were used. Antibiotic disks were placed in the media and incubated at 37°C for 24 h. Zone diameters formed after the incubation period were measured and evaluated according to CLSI 2013 (Bauer et al., 1966, CLSI 2013).

RESULTS

Out of 200 subclinical mastitis milk samples analyzed, 7 *C. pseudotuberculosis* isolates were identified, which corresponds to 3.5% of the total samples. Isolates yielded a specific 551 bp band for *C. pseudotuberculosis* (Figure 1).

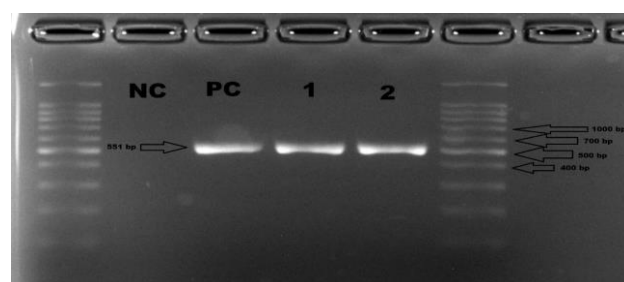


Figure 1. PIP gene (551 bp) PCR analysis electrophoresis image of *Corynebacterium pseudotuberculosis*. PC: *Corynebacterium pseudotuberculosis* positive control NCTC 3450; NC: Negative control (sterilised ddH₂O); 1-2: *Corynebacterium pseudotuberculosis* positive samples Marker: GRS Universal Ladder.

Antimicrobial susceptibility testing of the isolates was conducted using the Kirby-Bauer disk diffusion method. The results are summarized in Table 1. As a result of antibiotic susceptibility tests, Enrofloxacin (71%) and Gentamicin (71%) showed the highest susceptibility, while Oxytetracycline (43%), Tetracycline (43%), Amoxicillin/Clavulanic Acid (57%), and Ampicillin/Sulbactam (29%) exhibited varying degrees of susceptibility, with the highest resistance observed in Trimethoprim/Sulfamethoxazole (86%) and Ampicillin/Sulbactam (71%), and the evaluations were conducted according to the CLSI 2013 reference.

Table 1. Antimicrobial resistance profiles of isolates.

Antibiotic Name	Susceptible	Intermediate	Resistant	Referans
Enrofloxacin	5(%71)	0	2(%29)	CLSI 2013
Gentamicin	5(%71)	1(%14)	1(%14)	CLSI 2013
Oxytetracycline	3(%43)	1(%14)	3(%43)	CLSI 2013
Tetracycline	3(%43)	0	4(%57)	CLSI 2013
Trimethoprim/Sulfamethoxazole	1(%14)	0	6(%86)	CLSI 2013
Amoxicillin/Clavulanic Acid	4(%57)	0	3(%43)	CLSI 2013
Ampicillin/Sulbactam	2(%29)	0	5(%71)	CLSI 2013

DISCUSSION AND CONCLUSION

Mastitis cases in cattle are generally associated with *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp., *Escherichia coli*, *Trueperella pyogenes*, and *Corynebacterium* spp. (Cantekin et al., 2015). Among the *Corynebacterium* species associated with mastitis in livestock, *C. pseudotuberculosis*, *C. bovis*, *C. mastitis*, *C. amycolatum*, *C. minutissimum*, and *C. ulcerans* have been frequently reported (Hadimli et al., 2006).

In this study, 200 milk samples collected from subclinical mastitis cattle raised in the Aegean Region were examined, and *C. pseudotuberculosis* was isolated from 3.5% (7/200) of the samples. Antimicrobial susceptibility testing of the isolates revealed 71% susceptibility to enrofloxacin and gentamicin, 43% to oxytetracycline, and 57% to amoxicillin-clavulanic acid. Susceptibility to tetracycline was 43%, while susceptibility to trimethoprim-sulfamethoxazole and ampicillin-sulbactam was found to be 14% and 29%, respectively.

In Türkiye, a study conducted in Afyon province on 500 milk samples from cattle with clinical and subclinical mastitis reported the isolation rates of *C. ulcerans* at 6.45% and *C. bovis* at 5.65% (Özenç et al., 2019). Another study in Konya province involving 500 milk samples from goats with clinical and subclinical mastitis found a 23% isolation rate of *Corynebacterium* spp. (Çiftçi, 1996). In 2021, a study conducted in Söke district of Aydın province on milk samples from subclinical mastitis cattle reported a 17.97% isolation rate of *Corynebacterium* spp. (Çelik, 2021). A study in Yozgat province involving 238 milk samples from cattle with clinical mastitis reported the isolation of *Corynebacterium* spp. at a rate of 13.79% (24 samples) (Özavcı et al., 2017).

Additionally, a study conducted on mastitis milk samples from cattle in Konya, Kayseri, and Afyon provinces reported a 3,12% isolation rate of *C. pseudotuberculosis*, which remains the only study in Türkiye identifying this pathogen in mastitis cases (Hadimli et al., 2006).

In general, studies conducted in Türkiye have focused on *Corynebacterium* spp. without extending identification to the subspecies level. Isolation rates of *Corynebacterium* spp. in mastitis cases have been observed to vary between 11% and 23%. These differences are thought to arise from variations in livestock management practices across regions and differences in sample selection methods used in the studies. When compared to the only study in Türkiye identifying subspecies, which reported a 3.12% detection rate for *C. pseudotuberculosis*, the 3.5% detection rate found in the present study shows a similar result. (Hadimli et al., 2006).

Globally, cases of mastitis caused by *C. pseudotuberculosis* have been reported in sheep, goats, and cattle. A study conducted in Italy involving 120 milk samples from mastitic sheep reported a 7% detection rate of *C. pseudotuberculosis* (Rossi & Bianchi, 2016). Similarly, a 2013 study in Brazil found that 14% of mastitis cases in goats were caused by *C. pseudotuberculosis* (Silva & Santos, 2013). In Egypt, *C. pseudotuberculosis* was isolated from 12% of milk samples collected from 100 dairy goats (Abdelsalam & Ahmed, 2017). Additional studies on mastitic goat milk reported isolation rates of *C. pseudotuberculosis* at 8% in Spain in 2019 and 10% in South Africa in 2021 (Van der Merwe & Botha, 2021; Gonzalez & Garcia, 2019).

Studies focusing on cattle have also highlighted cases of *C. pseudotuberculosis* mastitis. For instance, in 2021, a mastitis case in a cow in England was attributed to *C. pseudotuberculosis* (Thompson & Wright, 2020). Experimental research in Canada observed clinical mastitis symptoms caused by *C. pseudotuberculosis* in 85% of experimentally infected cows (Dorella et al., 2008). A 2015 study in New Zealand detected *C. pseudotuberculosis* in 5% of mastitis cases in cattle (McDonald & Jeffers, 2015). In Australia, *C. pseudotuberculosis* was identified in 15% of samples from 200 dairy cows (Connor & Quirie, 2010). A 2011 study in the United States examined 29 cattle herds and reported a 10% detection rate of *C. pseudotuberculosis*, emphasizing the potential role of vectors in the transmission of the infection (Baird & Fontaine, 2011).

One of the most significant reports came from Israel, where a mastitis outbreak caused by *C. pseudotuberculosis* occurred in the summer of 2004. The outbreak affected 32 cows, with the pathogen isolated from 25% of milk samples (Yeruham et al., 2004).

The isolation of *C. pseudotuberculosis* in mastitis cases is a significant issue both in Türkiye and globally. Although the limited number of studies conducted in Türkiye have reported low detection rates of this pathogen in mastitis cases, it is considered an important pathogen, especially when evaluated alongside other *Corynebacterium* species. Globally, reports of *C. pseudotuberculosis* isolation in sheep, goats, and cattle have shown varying prevalence across different regions. This demonstrates that the pathogen exhibits diverse distribution and impact among species and geographical areas. The mastitis outbreak reported in Israel highlights the potential of this pathogen to cause epidemics, emphasizing the necessity for effective control strategies.

A study conducted in Balıkesir province on *C. pseudotuberculosis* isolates reported that the isolates were susceptible to neomycin/bacitracin/tetracycline (81.2%), amoxicillin/clavulanic acid (68.7%), cloxacillin (62.5%), oxytetracycline (68.7%), tetracycline (56.2%), ampicillin/sulbactam (31.2%), penicillin/novobiocin (75.0%), trimethoprim/sulfamethoxazole (18.7%), and enrofloxacin (87.5%), while all isolates were resistant to streptomycin (İlhan, 2020).

In Konya province, a study on *C. pseudotuberculosis* isolates obtained from sheep abscesses found that the isolates were susceptible to ampicillin (37.5%), florfenicol (98.6%), cloxacillin (55.5%), telithromycin (91.6%), penicillin G (83.3%), oxytetracycline (81.9%), rifampicin (81.9%), amoxicillin (77.7%), ampicillin/sulbactam (76.3%), erythromycin (69.4%), spiramycin (58.3%), gentamicin (81.9%), and enrofloxacin (83.3%) (Sakmanoğlu et al., 2015).

A 2024 study reported that four isolated strains of *C. pseudotuberculosis* were susceptible to tilmicosin, tetracycline, clindamycin, and ciprofloxacin (Babacan, 2024).

In Egypt, a study on *C. pseudotuberculosis* isolates reported that the isolates were susceptible to ciprofloxacin (96.2%), amikacin (90.4%), neomycin (88.5%), and streptomycin (80.8%), while they showed resistance to penicillin (96.2%) and erythromycin (92.3%) (Algammal, 2016).

In a study by Robaj et al. (2017), *C. pseudotuberculosis* isolates were found to be susceptible to penicillin and erythromycin (100%), tetracycline (95%), gentamicin (90%), cephalothin (85%), streptomycin (80%), amoxicillin (75%), ceftriaxone (70%), ciprofloxacin (65%), and trimethoprim/sulfamethoxazole (60%).

In another study conducted by El Damaty et al. (2023) in Egypt, *C. pseudotuberculosis* strains were found to be resistant to florfenicol and bacitracin (100%),

penicillin (92.6%), and erythromycin (92.6%), but fully susceptible to norfloxacin.

In this study, the antibiotic susceptibility profiles of *C. pseudotuberculosis* isolates were evaluated (CLSI, 2013). The isolates demonstrated susceptibility rates of 71% for enrofloxacin and gentamicin, 43% for oxytetracycline, and 57% for amoxicillin/clavulanic acid. Susceptibility to tetracycline was found to be 43%, while it was 14% for trimethoprim/sulfamethoxazole and 29% for ampicillin/sulbactam.

The susceptibility and resistance profiles of *C. pseudotuberculosis* strains to various antibiotics appear to be highly variable. This variability can be attributed to factors such as the country, region, and environmental conditions where the study was conducted, as well as the diversity and frequency of antibiotic treatments applied to the animal population from which the isolates were obtained. In Türkiye, the increase in antibiotic resistance against agents like *C. pseudotuberculosis* may be linked to the indiscriminate and unnecessary use of antibiotics. The lack of guidelines for therapeutic and prophylactic antibiotic use, as well as non-compliance with treatment durations, are among the factors contributing to the spread of resistant strains.

Therefore, raising awareness about the rational use of antibiotics, adopting treatment approaches based on susceptibility testing, and implementing resistance monitoring programs are of great importance. Additionally, studying resistance mechanisms could contribute to the development of effective treatment strategies.

In conclusion, it was determined that subclinical mastitis cases in cattle raised in the Aegean Region could be caused by *C. pseudotuberculosis*, and the antimicrobial susceptibility data obtained in this study should be considered when implementing treatment strategies for affected animals.

REFERENCES

- Abdelsalam, E.B. & Ahmed, M.A. (2017).** *Corynebacterium pseudotuberculosis* mastitis in Egyptian dairy goats. *Small Ruminant Research*, **152**, 96-100. DOI: [10.14202/vetworld.2018.1507-1511](https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.1507-1511)
- Algammal, A.M. (2016).** Molecular characterization and antibiotic susceptibility of *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolated from sheep and goats suffering from caseous lymphadenitis. *Zagazig Veterinary Journal*, **44**(1), 1-8.
- Baird, G.J. & Fontaine, M.C. (2011).** Mastitis in dairy cattle caused by *Corynebacterium pseudotuberculosis* and the feasibility of transmission by houseflies. *Veterinary Research*

- Communications, 35(3), 245-256. DOI: [10.1080/01652176.1996.9694623](https://doi.org/10.1080/01652176.1996.9694623)
- Babacan, O. (2024).** Koyun ve kuzuların deri apselerinden *Corynebacterium pseudotuberculosis*'in teşhisi. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 13(2), 123-127. DOI: [10.31196/huvfd.1534493](https://doi.org/10.31196/huvfd.1534493)
- Bauer, A.W., Kirby, W.M.M., Sherris, J.C. & Turck, M. (1966).** Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45, 493.
- Cantekin, Z., Ergün, Y., Doğruer, G., Sarıbay, M.K. & Solmaz, H. (2015).** Comparison of PCR and culture methods for diagnosis of subclinical mastitis in dairy cattle. *Kafkas University Veterinary Faculty Journal*, 21(2), 277-282.
- Çelik, Ö., Sur, E. & Çetin, H. (2021).** Aydın İli Söke İlçesinde Sütçü İneklerde Subklinik Mastitis Prevalansının ve Mastitise Neden Olan Aerobik Bakterilerin Belirlenmesi. *Harran University Journal of the Faculty of Veterinary Medicine*, 10(2), 100-106. DOI: [10.31196/huvfd.912187](https://doi.org/10.31196/huvfd.912187)
- Çiftçi, M.K., Berkin, Ş., Erer, H., Erganiş, O., Kıran, M.M., Hatipoğlu, F. & Sağlam Y.S. (1996).** Pathological and bacteriological studies on mastitis in goats. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 12(2), 105-114.
- CLSI. (2013).** Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; 23rd informational supplement. *CLSI M100- S23*. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA.
- Connor, K.M. & Quirie, M. (2010).** Outbreak of *Corynebacterium pseudotuberculosis* mastitis in a dairy herd. *Australian Veterinary Journal*, 88(4), 150-155. DOI: [10.1111/j.1751-0813.2010.00560.x](https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2010.00560.x)
- D'Afonseca, V., Prosdociami, F., Dorella, F.A., Pacheco, L.G.C. & Moraes, P.M. (2010).** Survey of genome organization and gene content of *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *Microbiological Research*, 165(4), 312-320. DOI: [10.1016/j.micres.2009.05.002](https://doi.org/10.1016/j.micres.2009.05.002)
- Dorella, F.A., Pacheco, L.G. & Miyoshi, A. (2008).** Experimental *Corynebacterium pseudotuberculosis* mastitis in dairy cows. *Research in Veterinary Science*, 84(4), 507-512.
- Dufour, S., Labrie, J. & Jacques, M. (2019).** The Mastitis Pathogens Culture Collection. *Microbiology Resources Announcements*, 8, e00133-19.
- El Damaty, H.M., El-Demerdash, A.S., Abd El-Aziz, N.K., Yousef, S.G., Hefny, A.A., Abo Remela, E.M., Shaker, A. & Elsohaby, I. (2023).** Molecular characterization and antimicrobial susceptibilities of *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolated from caseous lymphadenitis of smallholder sheep and goats. *Animals*, 13(14). DOI: [10.3390/ani13142337](https://doi.org/10.3390/ani13142337)
- Gonzalez, S. & Garcia, M. (2019).** Chronic mastitis in goats caused by *Corynebacterium pseudotuberculosis*. *Journal of Small Ruminant Medicine*, 10(3), 123-129.
- Gökdağ, M. O., & Çiftçi, A. (2021).** Antibiotic resistance and virulence gene profiles in *Staphylococci* isolated from cattle with mastitis. *J. Anatol. Env. Anim. Scie.*, 6(3), 395-402. DOI: [10.35229/jaes.954156](https://doi.org/10.35229/jaes.954156)
- Hadimli, H.H., Erganiş, O., Kav, K. & Sayın, Z. (2006).** *Corynebacterium* species isolated from milk samples of dairy cows with mastitis and antibiotic susceptibilities. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 22(3), 15-19.
- İlhan, Z. (2018).** Mastitiste teşhis ve immunoprofilaksi. *Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences*, 4(2), 1-6.
- İlhan, Z. (2020).** Kazeöz Lenfadenitisli Koyunlardan İzole Edilen *Corynebacterium pseudotuberculosis* Suşlarının in-Vitro Antibiyotik Duyarlılıkları. *Kocatepe Veterinary Journal*, 13(3), 267-271. DOI: [10.30607/kvj.738662](https://doi.org/10.30607/kvj.738662)
- McDonald, W.L. & Jeffers, D. (2015).** Mastitis caused by *Corynebacterium pseudotuberculosis* in dairy cows. *New Zealand Veterinary Journal*, 63(2), 88-91. DOI: [10.1080/00480169.2014.961855](https://doi.org/10.1080/00480169.2014.961855)
- Mardamootoo, P. (1982).** An atypical case of bovine mastitis. *Revue Agricole et Sucrière de l'Île Maurice*, 61, 79-84.
- Özavcı, V., Parın, U., Yüksel, H.T. & Kırkan, A.Ş. (2017).** Identification of Pathogen Bacteria from Bovine Mastitis In Yozgat Province And Determination of Antimicrobial Susceptibility. *Animal Health Production and Hygiene*, 6(1), 454-458.
- Özenç, E., Şeker, E. & Yılmaz, M. (2019).** Afyonkarahisar İlinde Sığırlarda Mezbaha Bazlı Mastitis Taraması. *Kocatepe Veterinary Journal*, 12(4), 437-442. DOI: [10.30607/kvj.621834](https://doi.org/10.30607/kvj.621834)
- Reyher, K.K., Dufour, S., Barkema, H.W., Des Côteaux, L., Devries, T.J., Dohoo, I.R., Keefe, G.P., Roy, J.P. & Scholl, D.T. (2011).** The National Cohort of Dairy Farms-A data collection platform for mastitis research in Canada. *Journal of Dairy Science*, 94, 1616-1626. DOI: [10.3168/jds.2010-3180](https://doi.org/10.3168/jds.2010-3180)
- Rossi, M. & Bianchi, F. (2016).** *Corynebacterium pseudotuberculosis* as a cause of mastitis in dairy sheep. *Italian Journal of Veterinary Science*, 72(2), 89-94. DOI: [10.4404/hystrix-27.2-11927](https://doi.org/10.4404/hystrix-27.2-11927)
- Savaşan, S., Nuhay, Ç., Ergüden, V.E. & Savaşan, S. (2023).** Determination of biofilm formation, antibacterial resistance and genotypes of *Bacillus cereus* isolates from raw milk. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 29(1). DOI: [10.9775/kvfd.2023.29162](https://doi.org/10.9775/kvfd.2023.29162)
- Schukken, Y. H., Bronzo, V., Locatelli, C., Pollera, C., Rota, N., Casula, A., Testa, F., Scaccabarozzi, L., March, R., Zalduendo, D., Guix, R. & Moroni, P. (2014).** Efficacy of vaccination on *Staphylococcus aureus* and coagulase-negative staphylococci intramammary infection dynamics in 2 dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 97, 5250-5264. DOI: [10.3168/jds.2014-8008](https://doi.org/10.3168/jds.2014-8008)

-
- Sharun, K., Dhama, K., Tiwari, R., Gugjoo, M. B., Iqbal Yatoo, M., Patel, S. K. & Chaicumpa, W. (2021).** Advances in therapeutic and management approaches of bovine mastitis: A comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, **41**(1), 107-136.
- Silva, J.A., & Santos, R. (2016).** *Corynebacterium pseudotuberculosis* and its role in caseous lymphadenitis and mastitis. *Veterinary Microbiology*, **187**(1-2), 1-6. DOI: [10.1016/j.vetmic.2016.02.002](https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.02.002)
- Thompson, K. & Wright, A. (2020).** *Corynebacterium pseudotuberculosis* infection in a dairy cow with mastitis. *Veterinary Case Reports*, **16**(3), 233-238.
- Van der Merwe, R. & Botha, M. (2021).** Molecular characterization of *Corynebacterium pseudotuberculosis* isolates from mastitic goats. *South African Journal of Animal Health*, **47**(4), 301-307.
- Yeruham, I., Braverman, Y., Shpigel, N.Y., Chizov-Ginzburg, A., Saran, A. & Winkler, M. (1996).** Mastitis in dairy cattle caused by *Corynebacterium pseudotuberculosis* and the feasibility of transmission by houseflies. *The Veterinary Quarterly*, **18**(3), 87-89. DOI: [10.1080/01652176.1996.9694623](https://doi.org/10.1080/01652176.1996.9694623)
- Yeruham, I., Friedman, S., Perl, S., Elad, D., Berkovich, Y. & Kalgard, Y. (2004).** A herd level analysis of a *Corynebacterium pseudotuberculosis* outbreak in a dairy cattle herd. *Veterinary Dermatology*, **15**(5), 315-320.



Ekolojik ve Rekreatif Bağlantılılık Modeli: Ankara İli Örneği^[*]

Meltem GÜNEŞ TİGEN^{1*} Şükran ŞAHİN²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye.

²Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 06120, Ankara, Türkiye.

Geliş Tarihi: 22.01.2025

Kabul Tarihi: 19.03.2025

Basım Tarihi: 25.03.2025

Atıf yapmak için: Güneş Tigen M. & Şahin Ş. (2025). Ekolojik ve rekreatif bağlantılılık modeli: Ankara ili örneği. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 10(2), 208-218. <https://doi.org/10.35229/jaes.1625222>

How to cite: Güneş Tigen M. & Şahin Ş. (2025). Ecological and recreational connectivity model: The case of Ankara province. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 10(2), 208-218. <https://doi.org/10.35229/jaes.1625222>

*ID: <https://orcid.org/0000-0001-5487-5548>
ID: <https://orcid.org/0000-0002-3730-2534>

***Sorumlu yazarın:**
Meltem GÜNEŞ TİGEN
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 59030, Tekirdağ, Türkiye.
✉: mgunes@nku.edu.tr

Öz: Hızla artan kentleşme ve çevresel sorunlar, Ankara gibi büyüyen metropollerde doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı artırmakta ve ekolojik bağlantıların korunmasını ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye'nin başkenti ve ikinci büyük kenti olan Ankara, hızlı kentleşme süreciyle ekolojik sürdürülebilirlik açısından kentleşme baskısına kritik derecede maruzdur. Bu çalışma, Ankara'nın ekolojik ve çevresel değerlerinin analiz edilerek sürdürülebilir kentsel gelişimle uyumlaştırılmasını amaçlamaktadır. Araştırmada, alanın jeolojik yapısı, hidrolojik özellikleri, arazi kullanımı ve habitat deseni gibi doğal öğeleri incelenmiş; bu öğelerin peyzaj üzerindeki etkileri yapısal ve işlevsel özelliklerin analizlerine dayalı olarak değerlendirilmiştir. Yapısal olarak ekolojik bağlantıların planlanması için En Düşük Maliyetli Yol (Least Cost Path) Analizi uygulanarak peyzaj öğeleri arasındaki bağlantılar tasarlanmıştır. İşlevsel olarak peyzaj koruma değeri yüksek alanların belirlenmesi amacıyla kilit ekolojik süreçler olan yüzey akış potansiyeli, toprak geçirgenliği ve erozyon riski analizleri yapılmıştır. Ayrıca, Ankara'nın doğal peyzajının rekreatif potansiyeli değerlendirilmiş; bitki örtüsü, su öğeleri ve önemli doğa alanları dikkate alınarak rekreatif odakları tanımlanmıştır. Bu odakların kentsel merkezlerle bağlantısını sağlamak için yeşil koridorlar, bisiklet yolları ve yürüyüş güzergâhları içeren sürdürülebilir ulaşım çözümleri peyzaj koridorları olarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, Ankara için geliştirilen yeşil altyapı modelinin ekolojik ve sosyal sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunduğunu göstermektedir. Model, literatüre yenilikçi bir yaklaşım kazandırmakta ve diğer kentler için uyarlanabilir bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), peyzaj bağlantılılığı, peyzaj planlama, yeşil altyapı.

Ecological And Recreational Connectivity Model: The Case of Ankara Province

Abstract: Rapid urbanization and environmental challenges increase pressure on natural resources in growing metropolises such as Ankara, necessitating the preservation and enhancement of ecological connectivity. Ankara, the capital and second-largest city of Turkey, is critically impacted by urbanization pressure, posing significant challenges for ecological sustainability. This study aims to analyze Ankara's ecological and environmental values and integrate them with sustainable urban development. The research examines natural elements such as geological structure, hydrological features, land use, and habitat patterns, evaluating their effects on the landscape based on structural and functional analyses. Structurally, a Least-Cost Path Analysis was applied to design connections between landscape elements, ensuring optimal planning of ecological linkages. Functionally, key ecological processes, including surface flow potential, soil permeability, and erosion risk, were analyzed to identify areas with high landscape conservation value. Additionally, the recreational potential of Ankara's natural landscape was assessed, defining recreational hubs based on vegetation cover, water features, and significant natural areas. Sustainable transportation solutions, such as green corridors, bike paths, and walking trails, were developed as landscape corridors to connect these hubs with urban centers. Consequently, this study demonstrates that the green infrastructure model developed for Ankara provides substantial contributions to ecological and social sustainability. The model introduces an innovative approach to the literature and offers an adaptable framework for other cities.

Keywords: GIS, green infrastructure, landscape connectivity, landscape planning.

GİRİŞ

Küresel ölçekte hızla artan kentleşme, çevresel bozulma ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına

yönelik artan talepler, ekolojik bağlantıların korunmasını ve yeşil altyapı planlamalarının önemini artırmıştır. Yeşil altyapı, doğal süreçlerin korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi amacıyla stratejik olarak planlanan

^[*] Bu makale, Meltem GÜNEŞ'in doktora tezinden üretilmiştir.

This manuscript was produced from Meltem GÜNEŞ's doctoral thesis.

doğal, yarı doğal ve yapısal elemanlardan oluşan bir ağıdır (Benedict & McMahon, 2012). Bu sistem, biyolojik çeşitliliğin korunması, su yönetimi ve iklim değişikliği ile mücadele gibi kritik ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir yönetimine katkıda bulunmaktadır (Şahin et al., 2014b; Görmüş et al., 2020; Demirören Civan and Görmüş Cengiz, 2023; Sevinçli & Bayrakçı, 2024; Oğuztürk & Yüksek, 2024).

Son yıllarda yeşil altyapı, kentsel dirençliliği artırma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama konularında öne çıkmıştır. Sevinçli ve Bayrakcı (2024), iklim değişikliği etkilerine uyum sağlama ve kentsel altyapının dirençliliğini artırma konularında yeşil altyapının etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Ergün ve Polat (2024), Türkiye bağlamında yeşil inovasyon ve yenilenebilir enerji tüketiminin çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki olumlu etkilerini analiz etmiş ve bu bağlamda yeşil altyapının yalnızca çevresel değil, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik açısından da kritik bir gereklilik olduğunu vurgulamıştır.

Ankara, Türkiye'nin başkenti olarak tarihi, mekânsal ve ekolojik anlamda büyük bir öneme sahiptir. Ancak kentin hızlı büyümesi ve mekânsal dönüşüm süreçleri, doğal peyzaj üzerinde baskı oluşturarak ekolojik işlevlerin kaybına neden olmaktadır. Ankara'nın zengin jeolojik yapısı, hidrolojik özellikleri ve çeşitli habitat ögeleri, yeşil altyapı planlaması için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Görmüş et al. (2020), Ankara'nın kentsel vadilerinde yer alan akarsu ekosistemlerinin korunmasının, kentsel ekosistemlerin devamlılığı açısından taşıdığı önemi vurgulamaktadır. Çalışmada, bu vadilerin doğal süreçlerinin ve ekolojik potansiyellerinin yeşil altyapı yaklaşımları çerçevesinde değerlendirilmesinin büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir.

Bu çalışma, Güneş (2017) tarafından yürütülen doktora tezinin bulgularına dayanılarak geliştirilmiştir. Söz konusu tezde, Ankara ili özelinde yeşil altyapı planlamasının kentsel kimlik ile etkileşimi incelenmiş ve Cumhuriyet dönemi örnekleri üzerinden yeşil ağ planlarının şehirle olan bağlantıları değerlendirilmiştir. Ankara’da 2004 yılında

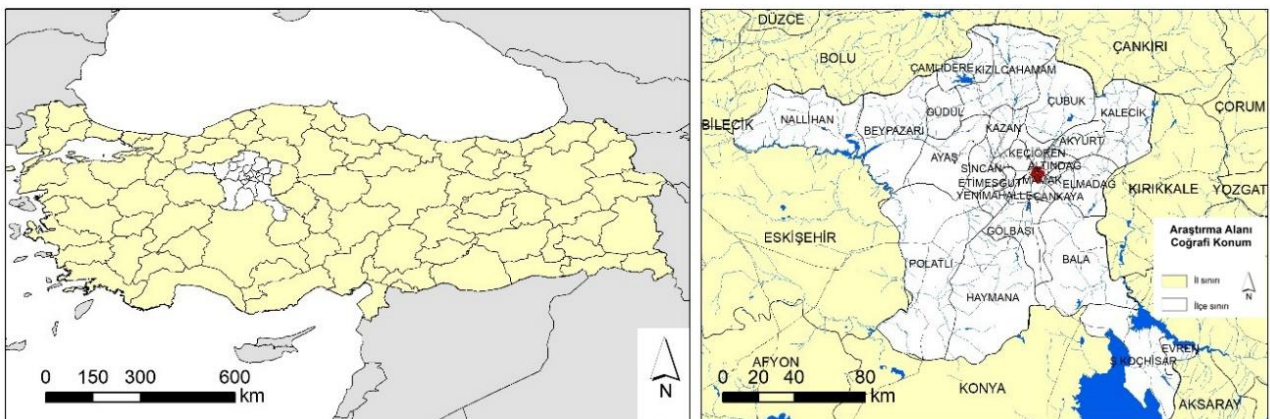
geliştirilen Yeşil Yol Planlaması (Arslan et al., 2004) kentin ekolojik koridorlarının sürdürülebilir yönetimi için temel bir çerçeve sunmuştur. Ancak, zaman içinde mekânsal büyüme ve kentsel yayılma nedeniyle bu planın etkinliği azalmıştır. Bu çalışma, Yeşil Yol Planlaması kapsamında belirlenen eksiklikleri değerlendirerek, yeşil altyapı modeli geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Bu kapsamda, peyzaj koruma değeri yüksek alanların belirlenmesi ve bu alanların sürdürülebilir yönetimine odaklanmaktadır. Yüzey akış potansiyeli, toprak geçirgenliği ve erozyon riski gibi doğal süreçler kapsamlı bir şekilde analiz edilmiş ve bu süreçlerin peyzaj üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ortaya konmuştur (Şahin vd. 2014). Rekreatiyonel potansiyeli yüksek alanlar belirlenmiş ve bu alanların sürdürülebilir kullanımı için öneriler geliştirilmiştir. Çalışmada, En Düşük Maliyetli Yol (Least-Cost Path, LCP) Analizi kullanılarak ekolojik ve sosyal işlevselliği destekleyen bağlantı koridorları tasarlanmıştır (Tecim, 2008; Beier et al., 2008; Bağlı et al., 2011; ESRI, 2021). Ankara'nın mekânsal gelişimi göz önüne alındığında, LCP yöntemi, ekolojik ağların sürekliliğini sağlamak ve kent içindeki yeşil bağlantıları güçlendirmek için stratejik bir yaklaşım sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma, Ankara ili için geliştirilen yeşil altyapı modelinin hem ekolojik hem de sosyal sürdürülebilirliğe katkı sunduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde, yeşil altyapı planlamalarının yalnızca çevresel fayda sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kentsel yaşam kalitesini artırarak ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliği desteklediği vurgulanmaktadır (Natural England, 2009; Costanza et al., 1997). Bu bağlamda, Ankara için geliştirilen model, benzer kentsel ve ekolojik yapıya sahip diğer şehirler için de uygulanabilir bir örnek sunmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı: Bu çalışma, Ankara il sınırları içerisinde yer alan doğal süreçlerin analizini kapsamaktadır. Çalışma alanı, 25.978 km² yüzölçümüne sahip Ankara ili bütününi kapsamaktadır (Şekil 1).

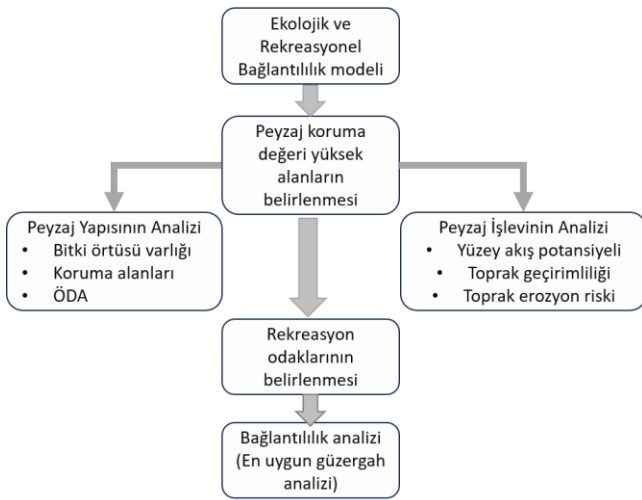


Şekil 1. Çalışma alanı konumu (Güneş, 2017).

Figure 1. Location of the study area (Güneş, 2017).

Yöntem:

Araştırma Tasarımı: Bu çalışma, Ankara ili sınırları içerisinde ekolojik ve rekreasyonel ağ bağlantılarının belirlenmesini amaçlayan nicel ve CBS tabanlı bir mekânsal analiz araştırmasıdır. Araştırmanın yöntem aşamaları Şekil 1'de gösterildiği gibi sıralanmıştır. Bu süreç, veri toplama aşamasıyla başlamış, ardından peyzaj yapısının ve işlevselliğinin analiz edilmesiyle devam etmiştir. Daha sonra rekreasyonel ve ekolojik bağlantılar belirlenerek, yeşil koridorların optimizasyonu için En Düşük Maliyetli Yol (LCP) Analizi uygulanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Araştırma Yöntemi Akış Diyagramı.

Figure 2. Research Method Flowchart.

Veri Kaynakları: Araştırmada kullanılan veriler CBS ve literatür taramalarıyla toplanmış ve şu çeşitli veri setlerinden oluşmuştur:

- 2023 Ankara Başkent Nazım İmar Planı
- 1/25.000 ölçekli topoğrafik ve toprak haritaları (KARTO-25)
- 2012 CORINE Arazi Örtüsü verisi
- Ankara'daki hidrolojik veriler (akarsular, barajlar, göller)
- Ankara'da 22 meteoroloji istasyonuna ait yağış verileri (1927-2016)
- Peyzaj koruma statüsü taşıyan alanlar (tabiat parkları, tabiat anıtları, sulak alanlar vb.)

Mekansal Analizler: Yeşil ağ planının oluşturulabilmesi için Ankara ilinde peyzaj yapısı ve işlevi incelenmiş ve şu analizler gerçekleştirilmiştir:

Peyzaj Yapısının Analizi (Şahin vd., 2014a)

- **Bitki örtüsü varlığı:** CORINE verisi kullanılarak bitki örtüsü ve arazi kullanımı belirlenmiştir.
- **Koruma Alanları:** Tabiat Parkları, Tabiat Anıtları, Tabiatı Koruma Alanları, Milli Park, Yaban Hayatını Geliştirme Sahaları ve Sulak Alanlar olmak üzere koruma statüsü ile korunan alanlar haritalandı.

- **Önemli Doğa Alanları (ÖDA):** Eken vd. (2016) çalışmasından yararlanılarak ÖDA alanları analiz edildi.

Peyzaj İşlevselliğinin Analizi (Şahin vd., 2014a):

- **Yüzey Akış Potansiyeli ve Toprak Geçirgenliği:** ABD Toprak Koruma Servisi'nin (SCS) Yüzey Akışı Eğri Numarası (CN) Yöntemi kullanılmıştır.
- **Erozyon Risk Analizi:** Toprak verileri ve hidrolojik özellikler üzerinden erozyona duyarlı alanlar belirlenmiştir.

Rekreasyon Odakları ve Yeşil Koridor Tasarımı

- **Rekreasyon Alanlarının Belirlenmesi:** Bitki örtüsü, su ögeleri ve ÖDA kriterleri esas alınarak rekreasyon alanları belirlenmiştir.
- **Yeşil Koridorlar:** Kentsel merkezleri ekolojik ağ ile bağlayan koridorlar oluşturulmuştur.
- **Bisiklet ve Yaya Yolları:** Eğim analizleri esas alınarak en uygun bisiklet yolları planlanmıştır.

En Düşük Maliyetli Yol (LCP) Analizi: Ekolojik ve rekreasyonel bağlantıların optimize edilmesi amacıyla En Düşük Maliyetli Yol (LCP) Analizi uygulanmıştır. Bu analiz, peyzaj direnci üzerinden en uygun bağlantı yollarını belirlemek için kullanılmıştır.

LCP Analiz Aşamaları:

Kaynak ve Hedef Alanların Belirlenmesi: Ekolojik yamalar ve rekreasyon noktaları belirlenmiştir (McRae et.al., 2008).

Maliyet Yüzeyi Oluşturma: CBS kullanılarak arazi kullanımı, eğim ve insan etkisi verilerine dayanarak direnç yüzeyleri oluşturulmuştur (Pinto & Keitt, 2009).

LCP Analizi Uygulama: Peyzaj elemanları arasındaki en uygun bağlantı yolları belirlenmiştir.

Tüm haritalar, ArcGIS yazılımı kullanılarak ED_1950_UTM_Zone_36N projeksiyon sisteminde hazırlanmış ve analizler numaralandırılmıştır.

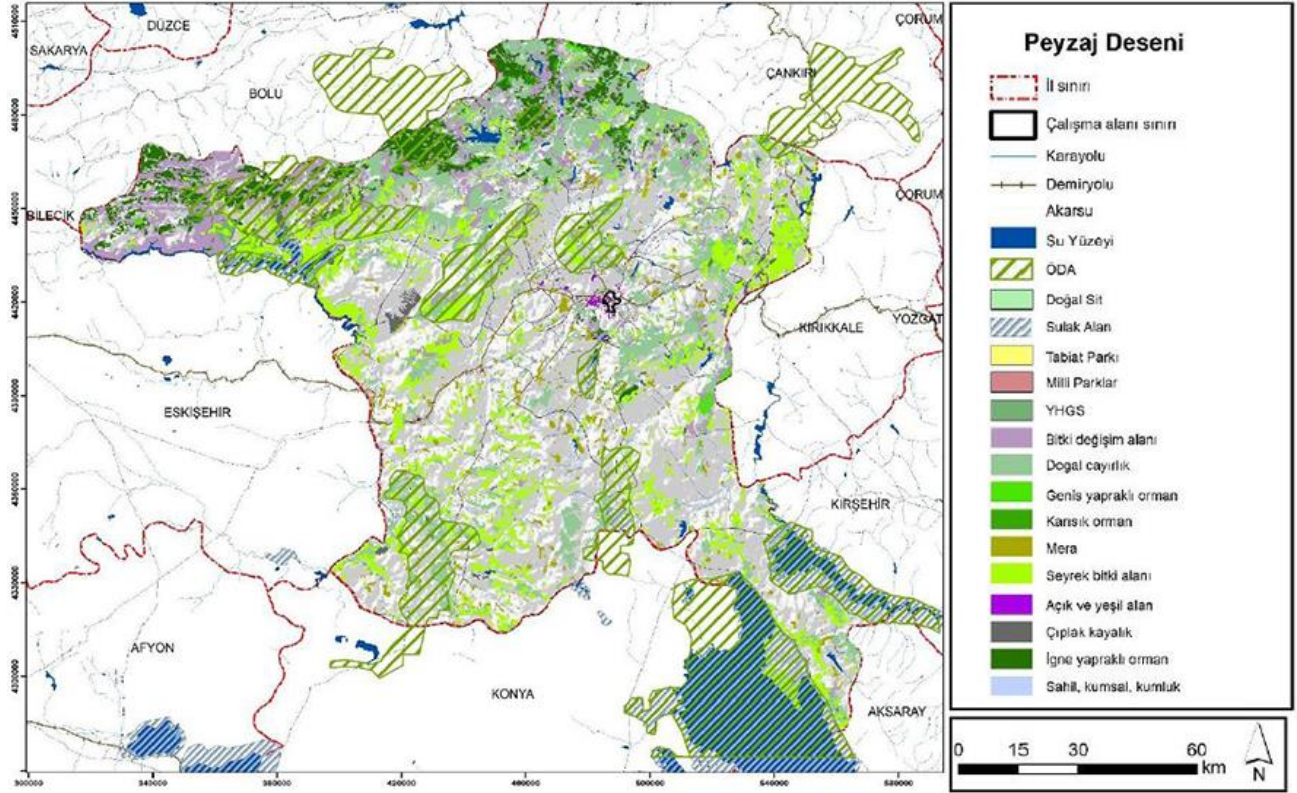
BULGULAR

Çalışma sonucunda, Ankara ili genelinde ekolojik ve çevresel süreçlerin peyzaj üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla kapsamlı analizler gerçekleştirilmiş ve peyzaj koruma değeri yüksek alanlar tespit edilmiştir.

Peyzaj yapısının analizi kapsamında öncelikle bitki örtüsü varlığı tespit edilmiştir. Tablo 1'de, CORINE arazi örtüsü verilerindeki bitki örtüsüne sahip alanlara ait kodlar ve bu kodların açıklamaları detaylı bir şekilde sunulmaktadır. Ardından, bitki örtüsü, su ögeleri ve koruma statüsüne sahip alanlar birleştirilerek peyzaj deseni haritası oluşturulmuş ve bu harita, koruma altındaki alanların dağılımını ve peyzajın mevcut yapısal özelliklerini ortaya koymuştur (Şekil 3).

Tablo 1. CORINE Arazi Örtüsü Kodları ve Bitki Örtüsü Varlığına İlişkin Açıklamalar (Düzy 1, 2 ve 3) (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012).**Table 1.** CORINE Land Cover Codes and Explanations Related to Vegetation Presence (Levels 1, 2, and 3).

Düzy 1 (Genel Kategori)	Düzy 2 (Alt Kategori)	Düzy 3 (Detaylı Sınıf)
1.Yapay bölgeler	Yapay ve tarımsal olmayan yeşil alanlar	141 Kentsel açık ve yeşil alan 142 Spor-eglenme alanı
2.Tarımsal alanlar	2.3 Meralar	231 Meralar
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.1 Ormanlar	311 Geniş yapraklı orman 312 İğne yapraklı orman 313 Karışık orman
	3.2 Maki ve otsu bitkiler	321 Doğal çayır 324 Bitki değişim alanı
	3.3 Bitki örtüsü ile kaplı olmayan veya az miktarda bitki örtüsü ile kaplı açık alanlar	333 Seyrek bitki alanı

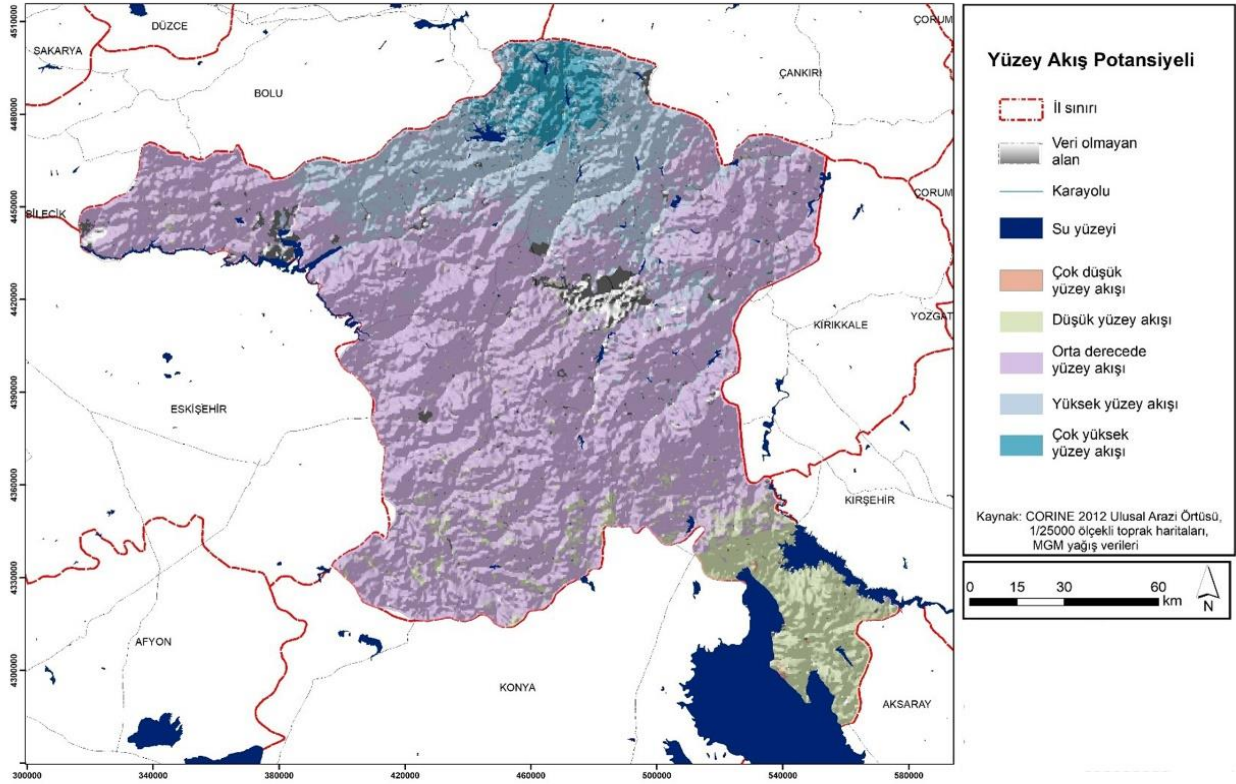
**Şekil 3.** Ankara ilinde peyzaj desenin mekansal dağılımı (Güneş, 2017).**Figure 3.** Spatial distribution of landscape pattern in Ankara (Güneş, 2017).

Peyzajın işlevsel özelliklerini belirlemek amacıyla, yüzey akış potansiyeli, toprak geçirgenliği ve erozyon riski analiz sonuçları birleştirilerek ekolojik işlevlere dayalı bir peyzaj işlev haritası hazırlanmıştır. Yüzey akış potansiyeli, Yüzey Akışı Eğri Numarası yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, hidrolojik toprak grupları ve CORINE arazi örtüsü verileri CBS ortamında birleştirilerek her bir poligon için CN numaraları atanmıştır. Ankara ili ve çevresindeki toplam 22 istasyon verisinden elde edilen yıllık ortalama yağış verileri, Kriging enterpolasyon yöntemiyle birleştirilmiş ve yüzey akış potansiyelini belirlemek amacıyla analiz edilmiştir. Oluşturulan yüzey akış potansiyeli haritasında, yüzey akış miktarı yüksek ve çok yüksek olan alanlar peyzaj işlevi açısından kritik öneme sahip olarak değerlendirilmiş ve Şekil 4'de sunulmuştur.

Toprak geçirimliliği, hidrolojik toprak gruplarına göre analiz edilmiş ve dört sınıfa ayrılmıştır: A sınıfı (yüksek infiltrasyon), B sınıfı (orta-düşük yüzey akışı), C sınıfı (orta-yüksek yüzey akışı) ve D sınıfı (yüksek yüzey akışı). Peyzaj işlevi açısından, öncelikli olarak A ve B sınıfları değerlendirilmiştir. Erozyon risk analizi, İlke et al. (2016)

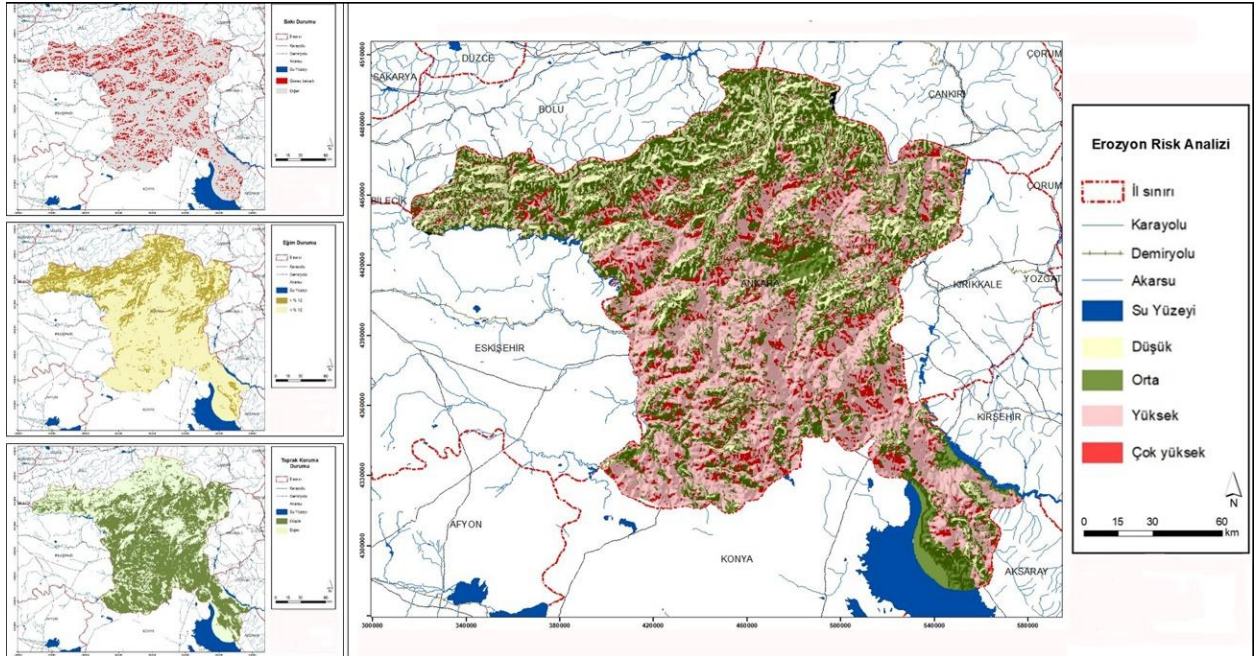
yöntemine göre eğim, bakı ve toprak koruma düzeyi verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Bakı analizi sonucunda güney bakanlar ve diğer bakanlar olmak üzere iki sınıflama yapılmıştır. Eğim analizi ise %12'den büyük alanları yüksek risk, %12'den küçük alanları düşük risk olarak sınıflandırmıştır. CORINE verileriyle değerlendirilen tarım alanları, düşük toprak koruma derecesine sahip olarak belirlenmiştir. Verilerin birleştirilmesiyle yüksek ve çok yüksek erozyon riski taşıyan alanlar tespit edilerek, Şekil 5'de pembe ve kırmızı renklerle sunulmuştur. Özellikle düşük toprak geçirgenliği ve yüksek eğim oranına sahip bölgeler, erozyona karşı hassas alanlar olarak öncelikli müdahale gerektiren bölgeler olarak tanımlanmıştır.

Son olarak yüzey akış potansiyeli, toprak geçirgenliği ve erozyon riski haritalarının çakıştırılması ile oluşturulan peyzaj işlevi haritası, su yönetimi ve erozyon kontrolü açısından öncelikli bölgeleri tanımlamakta ve sürdürülebilir ekolojik hizmetlerin sağlanması için temel bir araç sunmaktadır. Peyzaj işlevlerinin değerlendirilmesi kapsamında, yüksek ve çok yüksek işlev potansiyeline sahip alanların belirlenmesi için aşağıdaki kriterler esas alınmıştır:



Şekil 4. Ankara ilindeki yüzey akış potansiyeli dağılımı (Güneş, 2017).

Figure 4. Distribution of surface runoff potential in Ankara (Güneş, 2017).



Şekil 5. Ankara ilindeki erozyon risk bölgeleri (Güneş, 2017).

Figure 5. Erosion risk areas in Ankara (Güneş, 2017).

- **Yüzey suyu akış potansiyeli:** Yüksek ve çok yüksek akış potansiyeline sahip alanlar,
- **Toprak geçirimsizliği:** Yüksek yüzey akış potansiyeli taşıyan topraklar (D sınıfı) ve orta-yüksek yüzey akış potansiyeline sahip topraklar (C sınıfı),

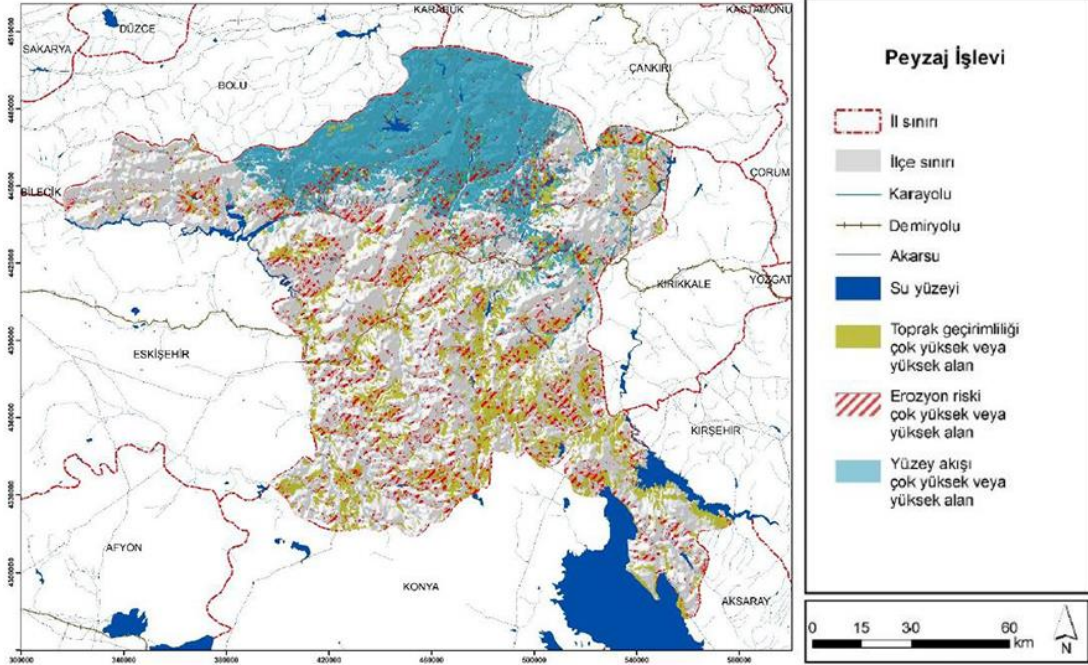
- **Erozyon riski:** Yüksek ve çok yüksek erozyon riski taşıyan alanlar.

Bu ölçütler birleştirilerek, Şekil 6'da gösterildiği gibi, herhangi bir işlev açısından çok yüksek ya da yüksek değere sahip alanlar tanımlanmıştır. Bu alanlar için peyzaj işlevleri doğrultusunda önemli yer altı suyu beslenme

alanlarının korunması, yüzey akışının yönetimi ve erozyon kontrolü gibi stratejik hedefler ve politikalar geliştirilmesi önerilmektedir (Şahin vd., 2014b).

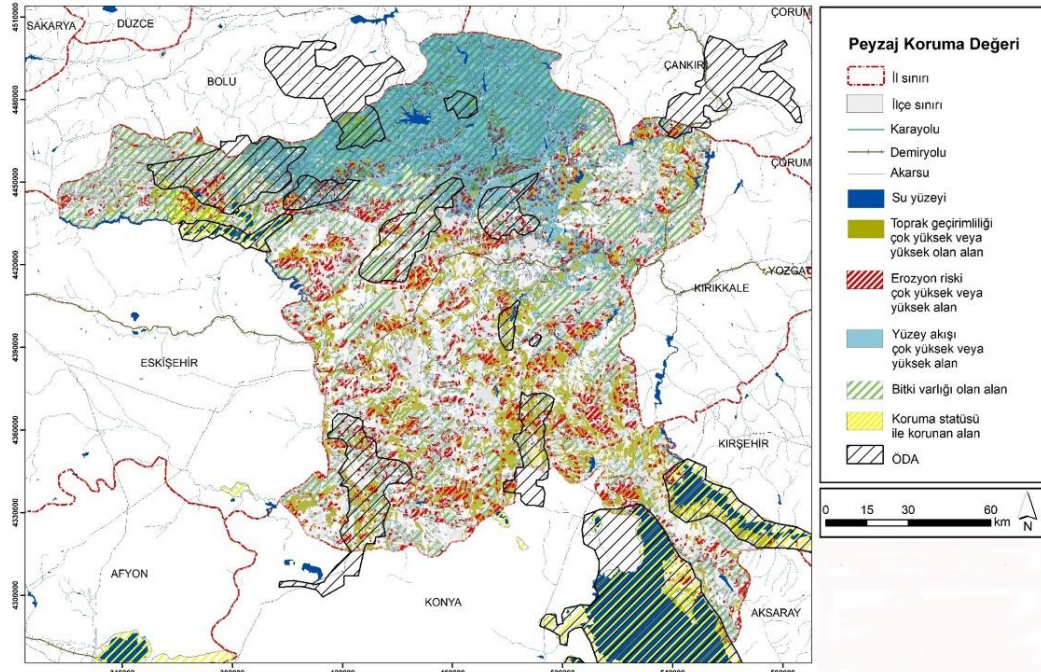
Sonuç olarak, peyzaj koruma değeri yüksek alanların belirlenmesi amacıyla, peyzaj deseni ile yüksek

ve çok yüksek işlev potansiyeline sahip alanlar birleştirilmiştir. Ankara ili genelinde, bir alanın hangi yapısal veya işlevsel özelliği nedeniyle peyzaj koruma değerinin yüksek olduğunu analiz edebilmek için, Şekil 7’de gösterilen ayrıntılı bir harita oluşturulmuştur.



Şekil 6. Ankara ilinde peyzaj işlev bölgelerinin haritalanması (Güneş, 2017).

Figure 6. Mapping of landscape function areas in Ankara (Güneş, 2017).



Şekil 7. Ankara ilindeki peyzaj koruma değeri yüksek alanlar (Güneş, 2017).

Figure 7. High landscape conservation value areas in Ankara (Güneş, 2017).

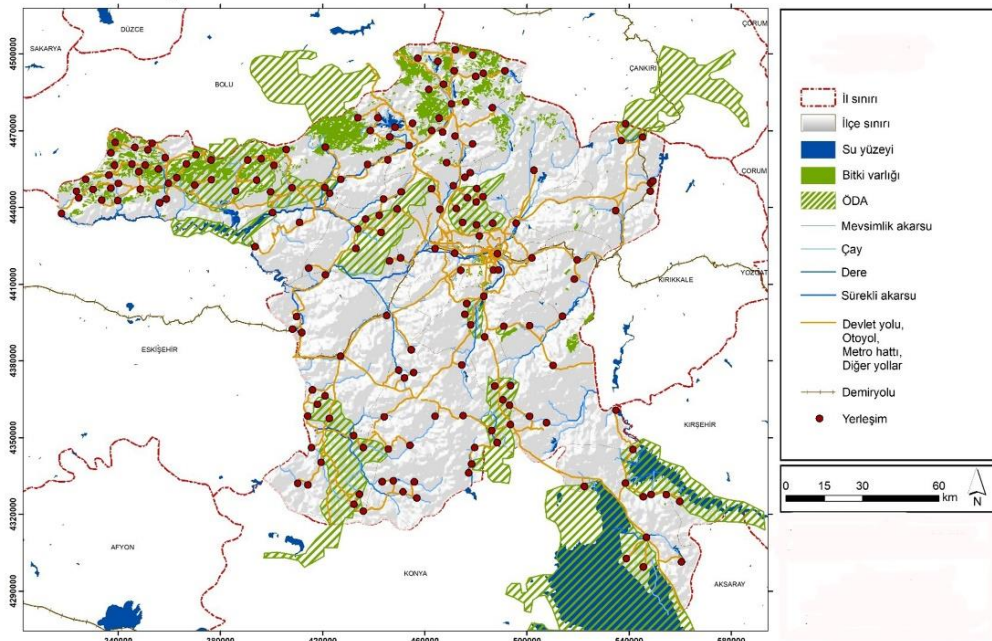
Ankara'nın doğal peyzajının rekreasyonel potansiyeli değerlendirilmiş ve bitki örtüsü, su ögeleri, korunan alanlar ile önemli doğa alanları dikkate alınarak rekreasyon odakları tanımlanmıştır. Bu odaklar, ekolojik işlevlerin korunması ile sosyal sürdürülebilirlik hedeflerini

birleştiren alanlar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, bu odakların topoğrafik uygunluk, akarsular, ulaşım hatları ve doğal-yapay koridorlarla bağlantılı analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğan (2012)'nin çalışmasında kullanılan yöntem doğrultusunda, bu odaklara erişim için

en yakın yerleşim yerleri, ulaşım hatları ve kentsel bağlantılar göz önünde bulundurulmuş, 1000 metreye kadar yaya erişimi sağlanabilir bölgeler önceliklendirilmiştir (Şekil 8). Bu yöntemle, rekreasyon alanlarının erişilebilirliğini artırmak ve doğal koridorlarla uyumlu bir altyapı ağı oluşturmak hedeflenmiştir.

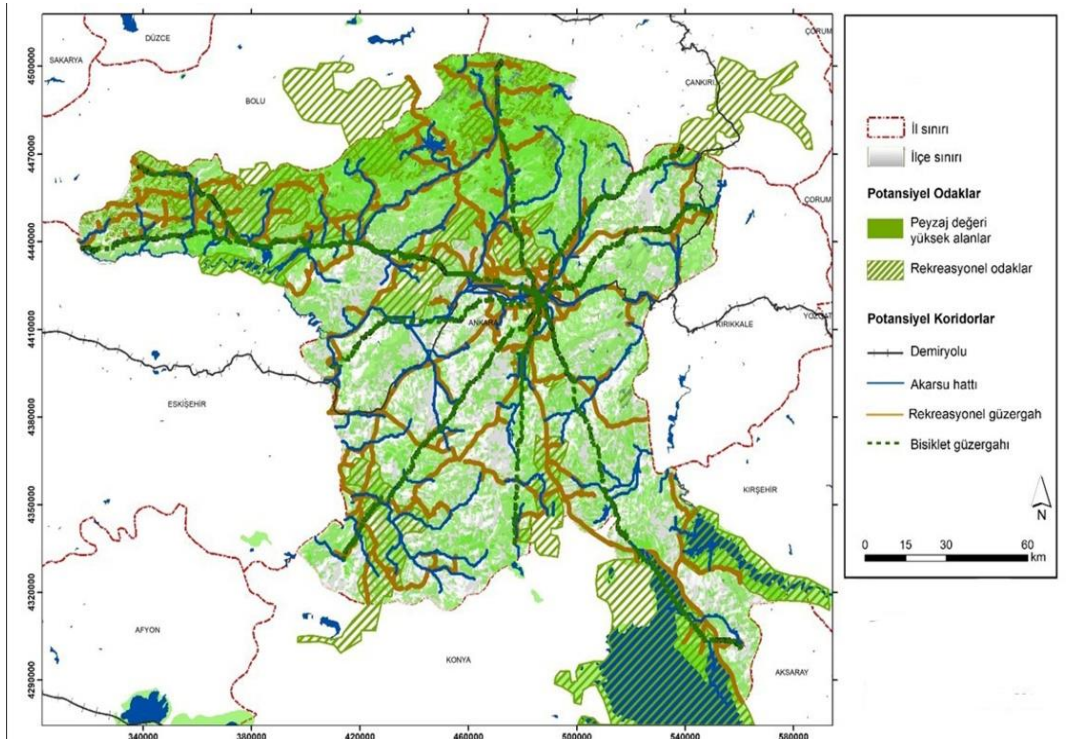
Ayrıca, rekreasyon odaklarının birbirine bağlanması için yeşil koridor güzergahları planlanmış ve bu güzergahlar, yaya yolları ve bisiklet yollarını içeren sürdürülebilir bağlantıları kapsamaktadır (Şekil 9, Şekil 10

ve Şekil 11). Güzergahların tasarımında topoğrafik uygunluk temel alınmış ve bu doğrultuda iki farklı bisiklet güzergahı önerilmiştir. İlk güzergah, eğim oranı %6'nın altında olan yolları kapsamış; bu güzergah, kullanıcı konforunu artırmak amacıyla düz ve kolay erişilebilir rotalar olarak tasarlanmıştır. İkinci güzergah ise %6 ile %12 arasında değişen eğimlere sahip rotaları içermiş ve bu rotalar, daha zorlu ancak rekreasyonel açıdan zengin deneyimler sunan bölgeler olarak planlanmıştır.



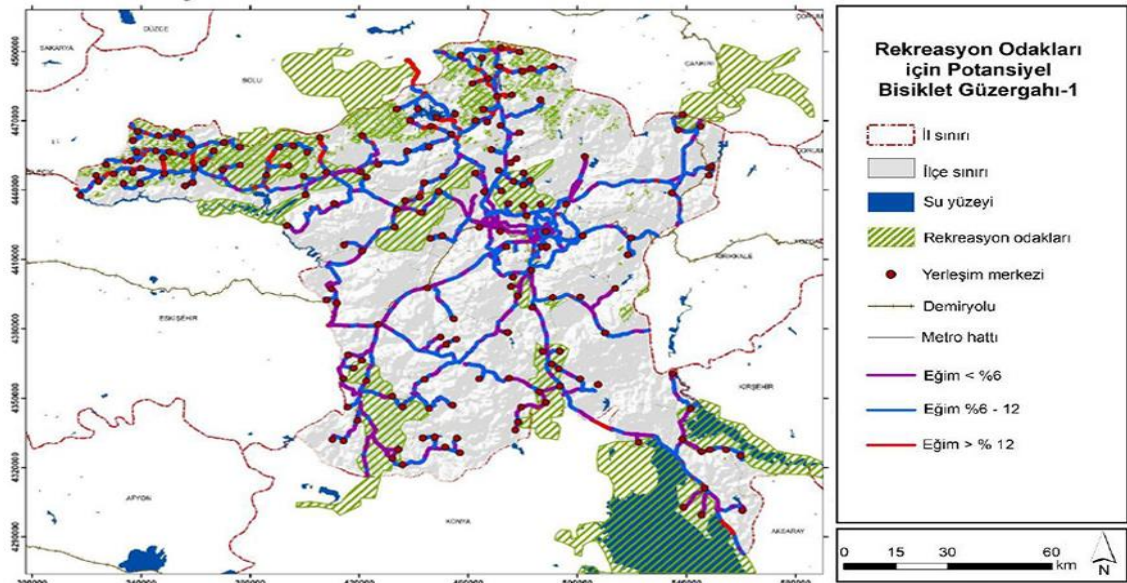
Şekil 8. Ankara ilinde peyzaj deseninin mekansal dağılımı (Güneş, 2017).

Figure 8. Spatial distribution of landscape pattern in Ankara (Güneş, 2017).

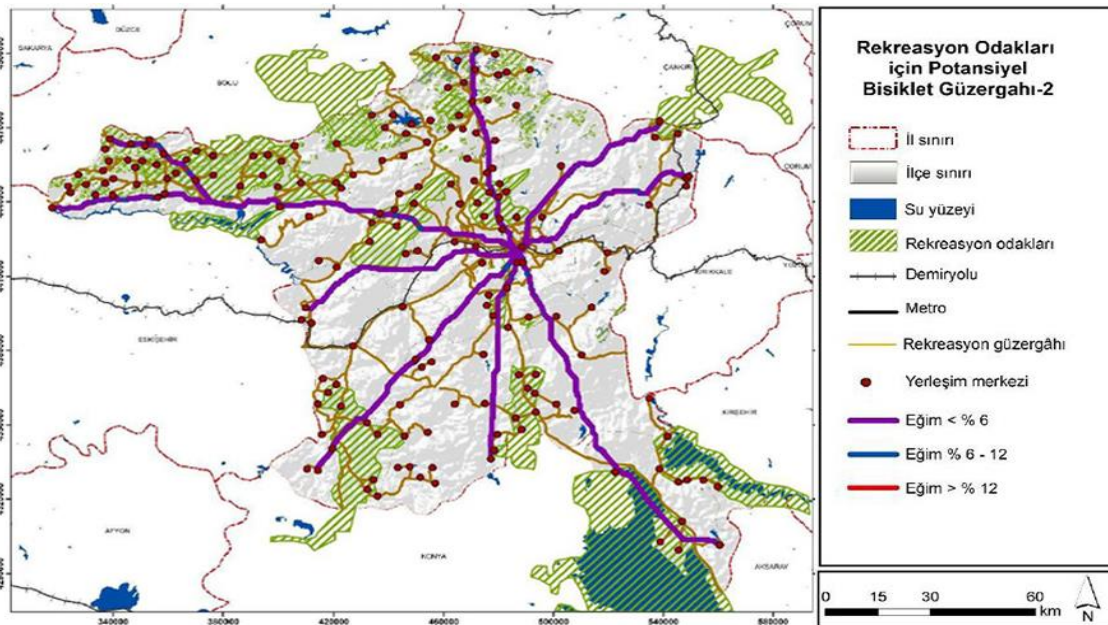


Şekil 9. Rekreasyonel bağlantı ve yeşil koridor güzergahları (Güneş, 2017).

Figure 9. Recreational connection and green corridor routes (Güneş, 2017).



Şekil 10. Rekreasyon odakları için önerilen bisiklet güzergahı - Alternatif 1 (Güneş, 2017).
Figure 10. Proposed bicycle route for recreational hubs - Alternative 1 (Güneş, 2017).



Şekil 11. Rekreasyon odakları için önerilen bisiklet güzergahı - Alternatif 2 (Güneş, 2017).
Figure 11. Proposed bicycle route for recreational hubs - Alternative 2 (Güneş, 2017).

Bu güzergahların tasarımında En Düşük Maliyetli Yol (Least-Cost Path, LCP) Analizi temel alınmıştır. Bu analiz, güzergahların doğal peyzajla bütünleşik bir şekilde tasarlanmasını sağlamış, kullanıcı konforunu ve ekolojik bağlantılılığı artırmayı hedeflemiştir. Özellikle, güzergahların doğal koridorlar ve mevcut ulaşım ağlarıyla uyumlu hale getirilmesi, hem çevresel sürdürülebilirliği hem de sosyal işlevselliği desteklemiştir. LCP analizi ile belirlenen bu güzergahlar, Ankara'nın rekreasyon alanlarının kentsel merkezlerle bağlantısını sağlayan entegre bir altyapı ağı sunmaktadır.

Sonuç olarak, yapılan analizler ve elde edilen haritalar, Ankara ilinde ekolojik bağlantıların korunması, doğal süreçlerin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve

sosyal faydaların artırılması için entegre bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Rekreasyon odakları ile kentsel merkezler arasında bağlantıyı sağlayan koridorların planlanması, hem ekolojik hem de sosyal sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir adım teşkil etmektedir. Bu bulgular, Ankara ili özelinde geliştirilen yeşil altyapı modelinin, diğer şehirler için de örnek olabilecek bir planlama çerçevesi sunduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Ankara ili için geliştirilen yeşil altyapı modelinin, ekolojik ve sosyal sürdürülebilirlik çerçevesinde önemli bir referans sunduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma sonucunda, peyzaj koruma değeri

yüksek alanlar belirlenmiş ve bu alanların, ekosistem hizmetlerinin sürekliliğini sağlama ve biyolojik çeşitliliği koruma açısından kritik öneme sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüzey akış potansiyeli yüksek ve düşük geçirgenliğe sahip bölgeler, su kaynaklarının korunması ve erozyon kontrolü için öncelikli alanlar olarak vurgulanmıştır. Bu bölgelerde önerilen yeşil koridorlar, sürdürülebilir yağmur suyu yönetimini desteklemekte ve mavi-yeşil altyapının (BGI) önemini vurgulamaktadır (Kaur & Gupta, 2022). Rekreasyon odaklarının tanımlanması ve bu odakların kentsel merkezlerle bağlantısının sağlanması için sürdürülebilir ulaşım güzergahları planlanmıştır. Yeşil koridorlar, yaya yolları ve bisiklet yollarını kapsayan bu güzergahlar, topoğrafik uygunluk ve kullanıcı erişilebilirliği esas alınarak en uygun şekilde tasarlanmıştır. Potansiyel bisiklet güzergahları için yapılan analizler, eğitim durumuna bağlı olarak iki farklı rota önerisini içermektedir. Bu çalışma, yeşil altyapı planlamasının hem ekolojik hem de sosyal sürdürülebilirliği destekleyebilecek şekilde uygulanabileceğini ortaya koymaktadır.

Araştırma bulguları, mevcut literatürle çeşitli yönlerden uyumlu ve destekleyici niteliktedir. Özellikle Arslan vd. (2004) tarafından yürütülen Ankara kenti yeşil yol planlaması ile bu çalışmanın bulguları karşılaştırıldığında, her iki çalışmanın da ekolojik, kültürel ve rekreasyonel bağlantıları güçlendiren bir planlama yaklaşımı benimsediği görülmektedir. Arslan ve arkadaşlarının çalışmasında, Ankara'da önerilen yeşil yol sistemi vadiler, yükselti grupları ve mevcut çevre yolu ile bağlantılı olarak şekillendirilmiştir. Bu sistem, kent ölçeğinde farklı kullanım alanlarıyla ilişkilendirilerek, yeşil alanların sürekliliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Benzer şekilde, bu çalışmada geliştirilen model de ekolojik hassas alanları ve rekreasyonel alanları bağlayan bir yeşil koridor ağı oluşturarak ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlamayı hedeflemektedir. Bununla birlikte, bu çalışma En Düşük Maliyetli Yol (Least-Cost Path, LCP) Analizi'ni kullanarak ekolojik bağlantıları daha etkin bir şekilde optimize etmeyi hedeflemiştir.

Yeşil altyapı planlaması üzerine yürütülen diğer çalışmalar (Benedict & McMahon, 2012; Kim & Coseo, 2018), doğal peyzajın korunması ile kentsel gelişim ve ekolojik sürdürülebilirlik arasındaki dengenin sağlanmasının önemini vurgulamaktadır. Özellikle Dong et al. (2022) ve Pantaloni et al. (2022) gibi çalışmalar, yeşil altyapının şehirlerin iklim değişikliğine karşı direnç geliştirmesinde ve sosyal faydaların sağlanmasında önemli bir araç olduğunu belirtmektedir. Bu çalışma, benzer bir perspektifi yerel ölçekli bir uygulama ile destekleyerek özgün bir katkı sunmaktadır. Avrupa'da yürütülen çalışmalar (Davies & Laforteza, 2017), yeşil altyapı planlamasında politika uyumunun önemini

vurgulamaktadır. Bu bağlamda, Ankara için geliştirilen model, bölgesel planlama politikalarıyla uyumlu stratejiler geliştirilmesi açısından bir örnek teşkil etmektedir. Özellikle En Düşük Maliyetli Yol (Least-Cost Path, LCP) Analizi'nin peyzaj planlamasındaki etkin kullanımı, Bagstad et al. (2013) ve Yin et al. (2011) tarafından önerilen yaklaşımları desteklemekte ve ekolojik bağlantıları en uygun şekilde sağlamada etkili bir araç olduğunu göstermektedir. LCP analiziyle tasarlanan koridorlar, Ankara ilindeki ekolojik hassasiyeti yüksek alanların kent içindeki bağlantılarını güçlendirmiştir. Bu koridorlar, ekosistem hizmetlerinin devamlılığını sağlarken sosyal bağlantıların geliştirilmesine de katkı sağlamıştır. Kim & Coseo (2018) tarafından vurgulanan yeşil koridorların iklim değişikliği ile mücadeledeki kritik rolü, bu çalışmada sunulan yeşil altyapı modelinin uygulaması ile desteklenmiştir. Rekreasyonel odakların belirlenmesi ve bu odakların kentsel merkezlerle sürdürülebilir ulaşım çözümleriyle (örneğin, yeşil koridorlar ve bisiklet yolları) bağlantılandırılması, sosyal sürdürülebilirliğe yönelik literatürdeki yaklaşımlarla uyum göstermektedir (Coşkun Hepcan & Hepcan, 2021; Ersoy Tonyaloğlu, 2023). Bagstad et al. (2013) ve Costanza et al. (1997), ekosistem hizmetlerinin ekonomik faydalarının, sürdürülebilir planlama kararlarını desteklemedeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Ankara ili için geliştirilen bu model, kentsel gelişim ile ekolojik koruma arasında bir denge kurarken, ekonomik sürdürülebilirlik için de güçlü bir temel sunmaktadır. Önerilen yeşil koridorlar ve rekreasyon alanları, yalnızca kentsel yaşam kalitesini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda rekreasyonel turizm ve yerel ekonomik faaliyetleri destekleyerek önemli katkılar sağlamaktadır. Bu model, çevresel ve ekonomik hedeflerin bütünlük bir yaklaşımla ele alındığı, kent ölçeğinde kapsamlı bir sürdürülebilirlik potansiyeli sunmaktadır.

Sonuç olarak, önerilen yeşil altyapı modeli, biyolojik çeşitliliğin korunması, ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği ve kentsel yaşam kalitesinin artırılmasında etkili bir yöntem sunmaktadır. Peyzajın yapısal ve işlevsel elemanlarının bütüncül bir yaklaşımla bir araya getirildiği bu model, diğer şehirler için uyarlanabilir bir çerçeve sunmakta ve kentsel büyüme ile ekolojik koruma arasında bir denge kurma konusunda güçlü bir örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKLAR

Bagli, S., Geneletti, D. & Orsi, F. (2011). Routing of power lines through least-cost path analysis and multicriteria evaluation to minimise environmental impacts. *Environmental Impact Assessment Review*, **31**(3), 234-239. DOI: [10.1016/j.eiar.2010.10.003](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.10.003)

- Bagstad, K.J., Semmens, D.J., Waage, S. & Winthrop, R. (2013).** A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation. *Ecosystem Services*, 5, 27-39. DOI: [10.1016/j.ecoser.2013.07.004](https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.004)
- Beier, P., Majka, D.R. & Spencer, W.D. (2008).** Forks in the road: Choices in procedures for designing wildland linkages. *Conservation Biology*, 22(4), 836-851. DOI: [10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x)
- Benedict, M.A. & McMahon, E.T. (2012).** *Green infrastructure: Linking landscapes and communities*. Island Press, Washington, DC. 320 pages.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. (1997).** The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. DOI: [10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)
- Davies, C. & Laforteza, R. (2017).** Urban green infrastructure in Europe: Is greenspace planning and policy compliant? *Land Use Policy*, 69, 93-101. DOI: [10.1016/j.landusepol.2017.08.018](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.018)
- Demirören Civan, D. & Görmüş Cengiz, S. (2023).** Kentsel sürdürülebilirliğin geliştirilmesine yönelik yeşil altyapı uygulamaları [Green infrastructure practices for improving urban sustainability]. *İnönü University Journal of Art and Design*, 13(2), 71-83. DOI: [10.16950/iujad.1316489](https://doi.org/10.16950/iujad.1316489)
- Doğan, D. (2012).** *Malatya İli Kapsamında Peyzaj Koridoru Kavramının İrdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara, 91s.
- Dong, X., Qin, J., Sun, J., Wang, Z. & Wang, H. (2022).** Exploring the benefits of urban green infrastructure for climate change adaptation and mitigation: A bibliometric review. *Sustainable Cities and Society*, 76, 103365. DOI: [10.1016/j.scs.2021.103365](https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103365)
- Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyoğlu, S., Kılıç, D.T. & Lise, Y. (editörler) 2006.** *Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları*. Doğa Derneği. AnDong et al. (2022).
- Ergün, S. & Atay Polat, M. (2024).** Türkiye'de yeşil inovasyon ve çevresel kalite arasındaki ilişkinin analizi. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 16(Özel Sayı), 36-49. DOI: [10.20990/kilisibfakademik.1510020](https://doi.org/10.20990/kilisibfakademik.1510020)
- Ersoy Tonyaloğlu, M. (2023).** Peyzaj planlama çalışmalarında ekosistem hizmetlerinin sosyal ve ekonomik boyutlarının analizi. *Journal of Environmental Planning*, 29(4), 233-248.
- Esri. (2021).** ArcGIS Pro ile uygunluk modelleyici (Suitability Modeler). *Esri Türkiye Blogu*. Retrieved from <https://blog.esri.com.tr/arcgis-pro-ile-uygunluk-modelleyici-suitability-modeler/>
- Görmüş, S., Cengiz, S., ve Oktay, E. (2023).** Vadilerin kent ekolojisini iyileştirme olanaklarının Ankara kent vadileri üzerinden değerlendirilmesi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 60(3), 473-488. DOI: [10.20289/zfdergi.1201871](https://doi.org/10.20289/zfdergi.1201871)
- Güneş, M. (2017).** *Yeşil altyapı kapsamında yeşil ağ planı ve kent kimliği etkileşiminin irdelenmesi: Ankara Cumhuriyet dönemi sınırı örneği*. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı.
- Hepcan, Ş. & Coşkun Hepcan, Ç. (2021).** Assessing ecosystem services of urban green spaces: the case of Eugene Pioneer Cemetery, Eugene, OR (USA). *Ege University Journal of Agriculture Faculty*, 58(4), 513-522. DOI: [10.20289/zfdergi.900698](https://doi.org/10.20289/zfdergi.900698)
- İlke, F., Yılmaz, F.Ç., Tekin, C., Baki, E. & Akkaya, G. (2016).** Bilecik Pelitözü Gölpark Peyzaj Karakter Analizi ve Rekreasyonel Peyzaj Tasarımı. *Bilecik Sakarya Gazete ve Matbaa Hizmetleri*, 98 pages, Bilecik.
- Kaur, H., & Gupta, K. (2022).** Blue-green infrastructure as a climate adaptation strategy in urban planning: A case of Indian cities. *Urban Climate*, 41, 101051. DOI: [10.1016/j.uclim.2022.101051](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101051)
- Kim, G. & Coseo, P. (2018).** Urban park systems to support climate resilience. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 317-325. DOI: [10.1016/j.ufug.2017.09.013](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.09.013)
- McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H. & Shah, V.B. (2008).** Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724. DOI: [10.1890/07-1861.1](https://doi.org/10.1890/07-1861.1)
- Natural England. (2009).** *Green infrastructure guidance*. Retrieved from <http://publications.naturalengland.org.uk/file/94026>
- Oğuztürk, G.E. & Yüksek, T. (2024).** Rainwater management model in Fener Campus in Recep Tayyip Erdogan University. In *International Studies and Evaluations in the Field of Landscape Architecture* (Vol. 5, pp. 45-60). Seruven Publishing.
- Pantalon, D., Fratini, R. & Rossi, G. (2022).** Assessing green infrastructure resilience: A review of approaches, methods, and tools. *Ecological Indicators*, 137, 108764. DOI: [10.1016/j.ecolind.2022.108764](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108764)

- Pinto, N. & Keitt, T. (2009).** Beyond the least-cost path: Evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach. *Landscape Ecology*, 24, 253-266. DOI: [10.1007/s10980-008-9303-y](https://doi.org/10.1007/s10980-008-9303-y)
- Şahin, Ş., Perçin, H., Kurum, E. & Memlük, Y. (2014b).** *Akarsu koridorlarında peyzaj onarımı ve doğaya yeniden kazandırma teknik kılavuzu*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü adına BEL-DA Belde Proje ve Dan. Tic. Ltd. Şti., Ankara, 154s.
- Şahin, Ş., Perçin, H., Kurum, E., Uzun, O. & Bilgili, C. (2014a).** *Bölge - Alt Bölge (İl) Ölçeğinde Peyzaj Karakter Analizi ve Değerlendirmesi Ulusal Teknik Kılavuzu*. Müşteri Kurumların T.C. İçişleri Bakanlığı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı olduğu, T.C. Ankara Üniversitesinin Yürütücü Kuruluş olduğu ve TÜBİTAK KAMAG 1007 Programı 109G074 No'lu PEYZAJ-44 Projesi Çıktısı, Ankara, 148s.
- Sevinçli, S. & Bayrakcı, Y. (2024).** Climate resilience through green infrastructure. *Climate Policy*, 24, 45-63. DOI: [10.1080/14693062.2024.1234567](https://doi.org/10.1080/14693062.2024.1234567)
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2012).** *CORINE Arazi Örtüsü Sınıfları*. Erişim adresi: https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/ara_ziortususiniflari.html
- Tecim, V. (2008).** *Coğrafi bilgi sistemleri: Harita tabanlı bilgi yönetimi*. Ankara: Renk Form Ofset Matbaacılık Ltd. Şti. ISBN: 978-605.
- Yin, H., Fu, B., Lü, Y., & Wang, R. (2011).** Integrating landscape connectivity and ecosystem services to identify conservation priorities: A case study of the Loess Plateau in China. *Ecological Modelling*, 222(2), 361-368. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2010.09.031](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.031)