

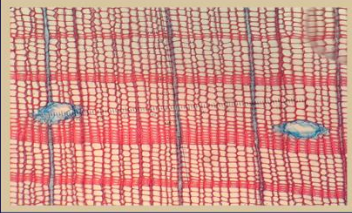


BARTIN ÜNİVERSİTESİ
ULUSLARARASI FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

JONAS



$$\begin{aligned} \operatorname{tg} 2x &= \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 - \operatorname{tg}^2 x} & \operatorname{tg} x &= \frac{\sin x}{\cos x} \\ \lambda x - y + z &= 1 & x + y + z &= \lambda \\ x + y + z &= \lambda^2 & x + y + z &= \lambda^2 \end{aligned}$$
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{n^3 + 1} + n}{\sqrt[3]{3n^2 + 2n - 1}}$$
$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$



Bartın University International Journal of Natural
and Applied Sciences

Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi

Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences (JONAS)

Publisher and Editor's Office

Bartın University
Graduate School
74100 Bartın-Türkiye
Tel: +90(378) 223 5422, Fax: +90(378) 2235424
E-mail: jonas@bartin.edu.tr

Editorial Office

Editor in Chief Prof. Dr. M. Sabri GÖK

E-mail: msabrigok@bartin.edu.tr

Editor Assoc. Prof. Dr. Zafer CEYLAN

E-mail: zaferceylan@bartin.edu.tr

Language Editor Asst. Prof. Dr. Fatma

GÜMÜŞOK

E-mail: fgumusok@bartin.edu.tr

Technical Editor Res. Asst. Sinan DÖNMEZ

E-mail: sdonmez@bartin.edu.tr

Technical Editor Res. Asst. Şuheda

KALTAKKIRAN

E-mail: suhedak@bartin.edu.tr

Editorial Board Members

*Prof. Dr. Orhan UZUN Bartın University,
Türkiye*

*Prof. Dr. Afer ALİFOV Baku Engineering
University, Azerbaijan*

*Prof. Dr. Ahmet Alper BABALIK Süleyman
Demirel University, Türkiye*

*Prof. Dr. Ahmet KARADAĞ Yozgat University,
Türkiye*

*Prof. Dr. Ahmet TUTUŞ Kahramanmaraş
University, Türkiye*

*Prof. Dr. Aysel USLU Ankara University,
Türkiye*

*Prof. Dr. Bülent KAYGIN Bartın University,
Türkiye*

*Prof. Dr. Cemil ALKAN Gaziosmanpaşa
University, Türkiye*

*Prof. Dr. Ercan TUNÇ Gaziosmanpaşa
University, Türkiye*

Prof. Dr. Gonzalo Martinez BARRERA

Autonomous University of Mexico State, Mexico

*Prof. Dr. Hamit AYBERK İstanbul University,
Türkiye*

*Prof. Dr. Harun PARLAR Technical University of
Munich, Germany*

*Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ Bartın University,
Türkiye*

*Prof. Dr. İclal DİNÇER Yıldız Technical
University, Türkiye*

*Prof. Dr. İlham PİRMAMEDOV Azerbaijan
Technical University, Azerbaijan*

*Prof. Dr. İsa HALİLOV Azerbaijan Technical
University, Azerbaijan*

*Prof. Dr. Joan Jose del Coz DIAZ University of
Oviedo, Spain*

*Prof. Dr. Lokman ÖZTÜRK Gaziosmanpaşa
University, Türkiye*

*Prof. Dr. Mahfuz ELMASTAŞ University of Health
Sciences, Türkiye*

Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK Bartın University, Türkiye
Prof. Dr. Nilgöl KARADENİZ Ankara University, Türkiye
Prof. Dr. Oğuzhan SARIKAYA Bursa Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Osman GENÇEL Bartın University, Türkiye
Prof. Dr. Ömer KARA Karadeniz Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Sabir ORUCOV Baku Engineering University, Azerbaijan
Prof. Dr. Tuğrul VAROL Bartın University, Türkiye
Prof. Dr. Witold BROSTOW University of North Texas, USA

Assoc. Prof. Dr. Azmihan AZİMOV Azerbaijan University of Architecture and Construction, Azerbaijan
Assoc. Prof. Dr. Emrah ALTUN Bartın University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Ercan GÖKYER Bartın University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. M. Cengiz KARAIŞMAİLOĞLU Bartın University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Parham TASLİMİ Bartın University, Türkiye
Assoc. Prof. Dr. Seyfullah GÖKOĞLU Bartın University, Türkiye
Asst. Prof. Dr. Mehmet YURDERİ Bartın University, Türkiye

JONAS is a peer reviewed journal which is published twice in a year (July and December) and only published as online. Original researches and invited review papers in English and Turkish are accepted to publication in the JONAS. The manuscripts submitted to the JONAS are double-blind peer reviewed, and the review process is completed in 30 days. According to the reviewers' comments, the submitted manuscripts are accepted or rejected. Manuscripts must be submitted with the understanding that they have not been published elsewhere and are not currently under consideration by another journal. JONAS is an open access journal, and provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge. Publishing in JONAS is free of charge.

Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences should be abbreviated as JONAS.

JONAS is open access, and the JONAS provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge. All articles in this journal are available free of charge from <http://dergipark.gov.tr/jonas>.

Both the University of Bartın and Institute of Science do not accept responsibility for the statements made or for the opinions expressed in the Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences (JONAS). The university makes no representation or warranty of any kind, concerning the accuracy, completeness, suitability or utility of any information, apparatus, product or processes discussed in this publication; therefore it assumes no liability. Except for fair copying, no part of this publication may be produced, stored in a retrieval system in any form or by any means electronic, mechanical, etc. or otherwise without the prior written permission of the JONAS and without reference.

Bartın Üniversitesi ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi (JONAS) yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversitenin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün ya da işlevlerin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu sebeple herhangi bir nedenle sorumlu tutulamaz. Bu yayının herhangi bir kısmı, JONAS'ın yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayımlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik vb. sistemlerle çoğaltılamaz.

Contents

Articles

Pages

İklim Değişikliği Konulu Lisansüstü Çalışmaların Bibliyometrik Analizi.....	27-40
Nihal ZENGİN, Ruşen YAMAÇLI	
Data Envelopment Analysis and Models in Healthcare Services: A Review.....	41-55
Hatice DİLAVER, Kâmil Fatih DİLAVER	
Some Physicochemical and Microbiological Properties of Traditional Helete Cheese.....	56-61
Emine Ezgi KÜPELİKİLİNÇ, Özlem TURGAY	
Oleik Asitten Biyodizel Üretimine Kesikli Reaktör ve Membran Reaktörde Karşılaştırılması.....	62-69
Erden HANİFE, Uğur Nigiz FİLİZ, Kahraman SENİYEKAN	
Ekstra Sert Aşınma Dirençli Hardox 600 Çeliğinin Kuru-Kayma Aşınma Davranışı.....	70-76
Yılmaz KÜÇÜK, M. Sabri GÖK	
Cone Yield and Growth Characteristics in a Plantation of <i>Cupressus sempervirens</i>	77-82
Nebi BİLİR	
Protection 500 (P 500) Çeliğinin Kuru-Kayma Aşınma Davranışı.....	83-90
Yılmaz KÜÇÜK, M. Sabri GÖK	
Böcek Koleksiyonlarını Uzun Süre Saklamanın Farklı Bir Yolu: Epoksi Reçine.....	91-97
Azize TOPER KAYGIN, Alper TURAN, Mehmet Caner KOCA, Seval AKGÜN	
Üniversitelerde Dijital Araç Yönetimi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneğiyle Web Tabanlı Araç Takip ve İzleme Sistemi.....	98-111
Erol KINA, Emre BİÇEK, Mevlüt İNAN, Osman GÜMÜŞ, Armağan Umut ALKAN	
A Study on The Application of Xeriscape in Zonguldak Bülent Ecevit University.....	112-119
Deniz KARAEMLAS	
Bolu Kent Ormanı' Nin Rekreasyon Potansiyelinin Ve Görsel Peyzaj Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	120-133
Başak ERTEM MUTLU, Bülent CENGİZ	
Biyonutrasötiklerin İnsan Vücuduna Etkisi.....	134-150
Münire KİDER, Elif ÇELİK, Zafer CEYLAN	
Arı Ürünlerinin Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Alanlarında Kullanım Olanakları.....	151-156
Abdullah DEMİRCİ	

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ KONULU LİSANSÜSTÜ ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Nihal Zengin^{1*}, Ruşen Yamaçlı²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Zile MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tokat

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Eskişehir

Öz

Günümüzde iklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz sonuçlar birçok alanda kendini somut olarak göstermektedir. Akademik anlamda farklı disiplinler tarafından iklim değişikliğiyle ilgili lisansüstü çalışmaların olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu disiplinlerden biri de mimarlıktır. Ancak mimarlık disiplini özelinde iklim değişikliği ile ilgili yapılan lisansüstü çalışmaların sayısı olarak azlığı dikkat çekmektedir. Bu çalışmanın amacı mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların bibliyometrik analizini yapmaktır. Makale kapsamında 13 adet soru belirlenmiş ve Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veri tabanına kayıtlı mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmalar 1 Eylül-15 Ekim 2023 tarihleri arasında taranmıştır. Yapılan tarama sonucunda farklı disiplinlerde olan 1803 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmaların ise sadece 94 adedi Mimarlık araştırma alanında yapılmıştır. Yapılan tarama sonucu elde edilen bulgular en fazla lisansüstü çalışmanın 2022 yılında üretildiği, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde hazırlandığı, yüksek lisans türünde ve Türkçe olarak yayımlandığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda bu çalışmanın özellikle mimarlık disiplininde iklim değişikliği özelinde üretilen lisansüstü çalışmaların artırılmasına kaynak olması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bibliyometrik analiz, Ulusal Tez Merkezi, iklim değişikliği, mimarlık

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF GRADUATE STUDIES ON CLIMATE CHANGE

Extended Abstract

It has been determined that there are postgraduate studies on climate change from different academic disciplines. One of the disciplines in question is architecture. However, it is noteworthy that the number of postgraduate studies on climate change in the discipline of architecture is low in number. The aim of this study is to conduct a bibliometric analysis of postgraduate studies on climate change in the field of architectural research. Within the scope of the article, 13 questions were determined and postgraduate studies on climate change in the field of architecture research registered in the National Thesis Center (YÖKTEZ) database were scanned between 1 September and 15 October 2023. As a result of the screening, 1803 studies in different disciplines were found. Only 94 of these studies were conducted in the field of Architecture research. 76 master's and 18 doctoral studies written between 2005 and 2022 were accessed and analyzed. While 93 of the 94 postgraduate studies in total are accessible from the YÖKTEZ database; One study can be accessed via TÜBESS. When we look at the distribution of postgraduate studies by years, we see an increase in the number of studies since 1995. 22 postgraduate studies prepared in 2022 constitute 23% of the total study. It is possible to interpret this situation as awareness of climate change has increased over the years and is reflected in academic studies. When we look at all the studies on climate change, it is noteworthy that the number of studies in the field of architectural research is low in number. It is thought that this bibliometric analysis study will lead to a focus on climate change in the field of architecture in the future. Although 76 (81%) of the postgraduate studies prepared were prepared as master's degrees, it was determined that the number of doctoral studies was less (18). In this context, there is a need to increase doctoral studies on climate change in the field of architectural research. It was determined that 68% (64) of the studies were prepared in Turkish, 38% (35) of the consultant titles were Associate Professor, and 72% (68) were managed by female consultants. In addition, 26% more studies (24) were conducted at Istanbul Technical University, the studies were generally (78%) in the Institute of Science and Technology, 84% in the Department of Architecture, 43% in the Department of Architecture, 71% by female authors, and 61% by female authors. It has been determined that it was prepared in the range of 101-200 pages. When looking at the keywords used in postgraduate studies, it

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Nihal ZENGİN;

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Zile MYO,
Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tokat, TÜRKİYE.

Geliş (Received) : 07.11.2023

Kabul (Accepted) : 09.09.2024

Basım (Published) : 31.12.2024

was determined that 1 study could not be accessed, while in the 24 studies that were accessed, a total of 274 keywords were used in the remaining 69 studies where there were no keywords, and the term "climate change" was used 13 times and the term "sustainability" was used 11 times. It is aimed that this study will be a resource for increasing postgraduate studies on climate change, especially in the discipline of architecture.

Keywords: Bibliometric analysis, National Thesis Center, climate change, architecture

1. Giriş

İklim değişikliği, son yıllarda etkilerinin somut olarak hissedilmesiyle birlikte evrendeki tüm canlıların yaşam şekillerini etkileyebilme ihtimali olan küresel bir sorun olarak ifade edilmektedir (Kanniah vd., 2020). Değişen iklim ile birlikte yeryüzünde ortalama sıcaklık artmakta, buzullar erimekte ve buna bağlı olarak deniz seviyesi yükselmekte, ani yağışlar, sel, su baskınları ve toprak kayması yaşanmakta hatta yakın gelecekte de gıda krizinin yaşanması muhtemel görünmektedir. İklim değişikliğinden kaynaklanan olumsuz sonuçları önlemek ve uyum politikalarına geliştirebilmek evrenin kaynaklarının sürdürülebilirliği için önem arz etmektedir. Özellikle sera gazı azaltımına yönelik atılacak adımların iklim değişikliği ve küresel ısınmanın olumsuz etkilerinin azaltılmasında etkisi büyüktür. Bu konuyla ilgili yerel ve merkezi yönetimler tarafından yapılacak olan iklim değişikliği eylem planları önemlidir.

İklim değişikliğine ve beraberinde getirdiği küresel ısınmaya sebep olarak evrenin kaynaklarının çoğunluğunu kullanan kentler gösterilmektedir. Çünkü dünya nüfusunun %55 gibi büyük bir çoğunluğu kentlerde yaşamaktadır. Bu oranın ilerleyen yıllarda daha da artması beklenmektedir. Kent kaynaklı oluşan sera gazı emisyon değeri toplam emisyon değerinin %70'i olarak ifade edilmektedir (United Nations, 2018). Fosil yakıt, kömür ve petrol kullanımı sera gazı emisyon değerinin artmasına yol açmakta ve iklim değişikliğine olumsuz anlamda katkı sağlamaktadır. Bunların yanı sıra kentlerin plansız büyümesi, ani ve aşırı göçle artan nüfus, kent içinde konumlanan endüstri faaliyetlerinin yapıldığı düzensiz alanlar iklim değişikliğine sebep olmaktadır.

Kentler, sundukları fırsatlar neticesinde göç dalgalarına maruz kaldığından 2060 yılına kadar kentlerdeki mevcut bina stokunun iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (WGBC, 2023). Bu artışın kent planlamada sorunlar ortaya çıkarmasının yanı sıra demografik olarak da kentte değişimin yaşanmasına zemin hazırlayacağı öngörülmektedir. Kentte hızla artan bina stoku, kentsel kaynak olan topraktaki yapılaşma oranı, duvar ve çatı gibi yüzeyler ısıyı hapsedmekte ve kentsel ısı adası oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Son yıllarda araştırmacılar tarafından yapılan analizler incelendiğinde güneşten gelen ısının gün boyunca çatı ve zemine oranla duvarlarda daha uzun süre depolandığı tespit edilmiştir (Krüger, Minella ve Rasia, 2011). İşte bu durumda kentleşme hareketleri ile ortaya çıkan ve hızla artan bina stokunun gizli ısı ürettiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca tasarlanan binada kullanılan yapı malzemelerinin, yapım tekniklerinin ve bina formunun kentsel ısı adalarının oluşmasında etkin olduğu ve dolayısıyla iklim değişikliği ve küresel ısınmaya olumsuz anlamda katkı sağladığı ortaya çıkmaktadır (Johansson ve Emmanuel, 2006; Zhou, Rybski ve Jürgen, 2017). Bu sebeple tasarım ve planlama süreçlerinde tercih edilen yapı malzemesi ve yapım tekniklerinin iklim değişikliğine olası etkileri düşünülerek karar verilmelidir. Bu şekilde kentsel ısı adalarının oluşumunun engellenmesi ve termal konforun oluşması beklenmektedir.

İklim değişikliği kavramını sadece yeryüzü sıcaklığındaki artış olarak tanımlamamak gerekmektedir. Artan sıcaklığa bağlı olarak aşırı ve ani hava olayları meydana gelmekte bu durum kuraklık, gıda krizi ve iklim kaynaklı göçlere sebep olmaktadır. Hayvanlar, bitkiler, toplum ve ekosistem değişen iklimden doğrudan etkilenmektedir. Değişen iklim kaynaklı oluşan olumsuz etkilerin azaltılmasına ve uyum çalışmalarına yönelik olarak öncelikle toplumda iklim farkındalığının oluşması gerekmektedir. Özellikle yerel yönetimler tarafından alınacak kararlarda, belirlenen yönetmeliklerde iklim değişikliği göz önünde bulundurulmalı ve bilimsel olarak tartışılabileceği platformlar oluşturulmalıdır.

Bu araştırma makalesi, son yıllarda farklı disiplinler tarafından sıklıkla çalışıldığı tespit edilen iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların bibliyometrik analizini yapmayı amaçlamaktadır. Yapılan bu çalışma ile ulusal literatürdeki lisansüstü çalışmaların derinlemesine incelenmesi, mimarlık alanında iklim değişikliği konusuna olan bakış açıları, araştırmacılar ve çalışmaların özgünlüğünün ortaya sunulması hedeflenmektedir. Dolayısıyla bu çalışma ile ulusal literatürdeki mevcut durum tespit edilerek gelecekteki çalışmalar için bir zemin hazırlanması ve literatüre önemli bir katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırma makalesinin amacı belirli bir konu başlığında ulusal literatüre kazandırılmış olan lisansüstü çalışmaların analiz edilmesiyle birlikte mevcut çalışmaları değerlendirmek, gelişim ve akışlarını incelemek, kavramsal çerçeveyi belirlemektir. Yapılan bu araştırmanın bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda kaynak olarak kullanılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda bu makalede mimarlık alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların mevcut durumunu belirlemek için bibliyometrik analiz çalışması yapılmıştır.

Bibliyometri kavramı “belirli bir alanda belirli bir dönemde ve belirli bir bölgede kişiler ya da kurumlar tarafından üretilmiş yayınların ve bu yayınlar arasındaki ilişkilerin sayısal olarak analizidir” şeklinde tanımlanmaktadır (ULAKBİM, 2023). Bibliyometrik analiz çalışmaları literatürdeki mevcut yayınları indeks, ülke, kategori ve bağlı olduğu kurum ve kuruluş gibi birçok alanda değerlendirmektedir. Bu şekilde çalışmaların gelişimini değerlendirerek akademik yayınlardaki kaynakların belirlenerek yeni gelişmelere kaynaklık ederek literatüre olumlu anlamda katkı sunmaktadır (Martinez vd., 2015).

Bu araştırma makalesinde mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların mevcut durumunu belirlemek için Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veri tabanında gelişmiş tarama seçeneği seçilerek aranacak kelime olarak “iklim değişikliği” anahtar kelimesi taranmıştır. Aranacak alan “Tümü”, arama tipi “sadece yazılan şekilde” ve yıl 2022 yılı ile sınırlandırılarak tarama yapılmıştır. Yapılan taramaya göre 1803 adet lisansüstü çalışmaya ulaşılmış ve ilk çalışmanın 1993 yılında Meteoroloji araştırma alanında yüksek lisans türünde yapıldığı bilgisine ulaşılmıştır. Daha sonra YÖKTEZ veri tabanı üzerinde aynı şekilde gelişmiş tarama seçeneği seçilerek “iklim değişikliği” ve “mimarlık” anahtar kelimeleri birlikte taranmıştır. Aranacak alan “Tümü” ve arama tipi “Sadece yazılan gibi” olarak belirlenmiş ve yıl 2022 yılı ile sınırlandırılmıştır. Yapılan tarama sonucunda mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu ilk çalışmanın 2005 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık anabilim dalı yapı bilim dalında yüksek lisans türünde 94 sayfa ve Türkçe olarak hazırlandığı tespit edilmiştir. Yapılan tarama sonucunda 2005-2022 yılları arasında yazılan 94 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu bağlamda, bibliyometrik analiz çalışması yapılan bu makalenin materyali, mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konusunun yer aldığı 94 adet lisansüstü çalışmadan oluşmaktadır.

Bibliyometrik analizde verileri elde edebilmek için 1 Eylül-15 Ekim 2023 tarihleri arasında tarama yapılmıştır. Daha sonra lisansüstü çalışmaları belirli alanlarda kategorize edebilmek için sorular belirlenmiştir. Bu sorular şunlardır:

- 1- Çalışmaların erişim durumuna göre dağılımı nasıldır?
- 2- Çalışmaların yıllara göre dağılımı nasıldır?
- 3- Çalışmaların türlerine göre dağılımı nasıldır?
- 4- Çalışmaların yayın diline göre dağılımı nasıldır?
- 5- Çalışmaların danışmanlarının unvanlarına göre dağılımı nasıldır?
- 6- Çalışmaların danışmanlarının cinsiyetlerine göre dağılımı nasıldır?
- 7- Çalışmaların yayımlandıkları üniversitelere göre dağılımı nasıldır?
- 8- Çalışmaların enstitülere göre dağılımı nasıldır?
- 9- Çalışmaların anabilim dallarına göre dağılımı nasıldır?
- 10- Çalışmaların bilim dallarına göre dağılımı nasıldır?
- 11- Çalışmaların sayfa sayılarına göre dağılımı nasıldır?
- 12- Çalışmaların yazarlarının cinsiyetine göre dağılımı nasıldır?
- 13- Çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerin dağılımı nasıldır?

Tarama sonucu elde edilen veriler tablo ve şekillerle desteklenerek bulgular oluşturulmuştur. Bu araştırma makalesinde kullanılan yöntemin akış diyagramı Şekil 1’de gösterilmektedir.



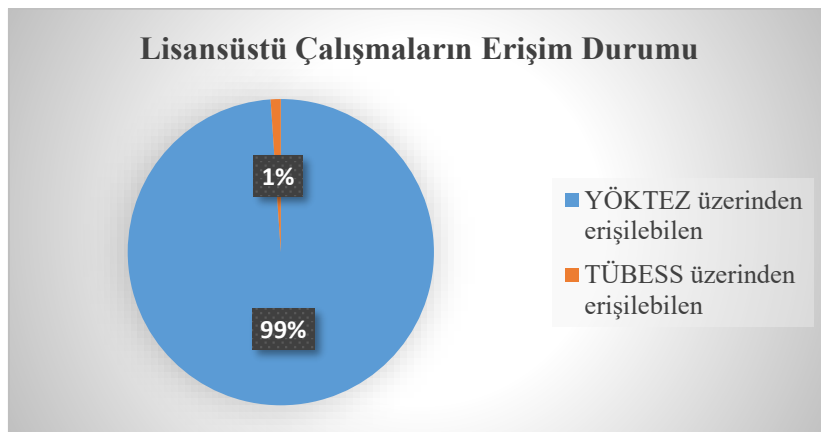
Şekil 1. Makalede kullanılan yöntemin akış diyagramı

3. Bulgular

Mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmalar Ulusal Tez Merkezi (YÖKTEZ) veri tabanında tarandığında 94 adet lisansüstü çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalar analiz edildiğinde 93 adedine (%99) YÖKTEZ veri tabanı üzerinden erişim sağlanırken 1 adet (%1) çalışmaya ise erişim sağlanamamakta sadece TÜBESS üzerinden erişim sağlanabilmektedir. Tablo 1’de lisansüstü çalışmaların erişim durumu ve Şekil 2’de ise erişim durumu grafiği gösterilmektedir.

Tablo 1. Lisansüstü çalışmaların erişim durumu

Erişim Durumu	Sayı	%
Erişime Açık Olan (YÖKTEZ üzerinden erişilebilen)	93	99
Erişime Kapalı Olan (TÜBESS üzerinden erişilebilen)	1	1
Toplam	94	100



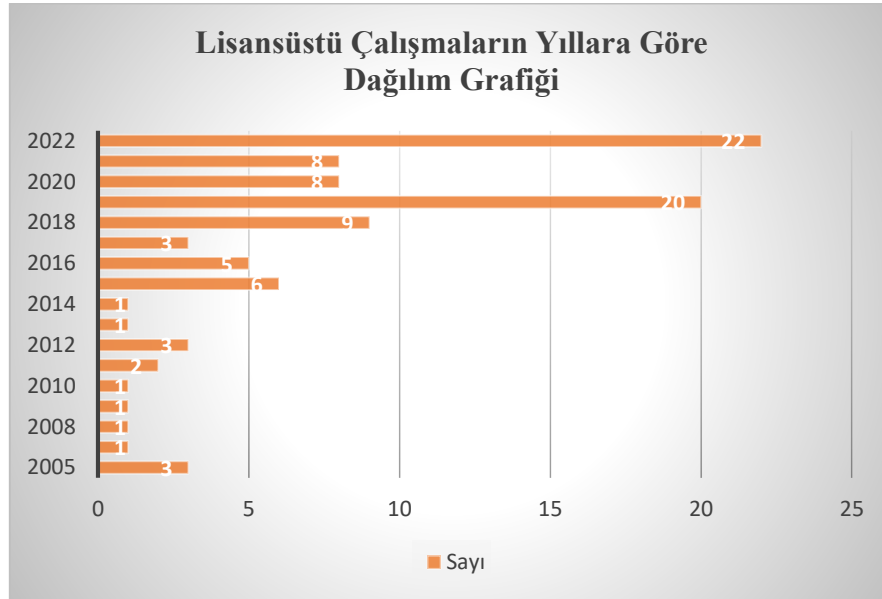
Şekil 2. Lisansüstü çalışmaların erişim durumu grafiği

Yapılan analizler sonucunda yıllara göre lisansüstü çalışmalar incelendiğinde sayı olarak en fazla lisansüstü çalışmanın 2022 yılında yayınlandığı ve 22 adet olduğu tespit edilmiştir. 2023 yılına kadar Türkiye’de 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 ve 2014 yıllarında mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu 1 adet; 2011 yılında 2 adet; 2005, 2012 ve 2017 yıllarında 3 adet, 2016 yılında 5 adet; 2015 yılında 6 adet; 2020 ve 2021 yıllarında 8 adet; 2018 yılında 9 adet; 2019 yılında 20 adet ve son olarak 2022 yılında 22 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Tablo 2’de lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılımı ve Şekil 3’de yıllara göre dağılım grafiği gösterilmektedir.

Tablo 2. Lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılımı

Yıl	Sayı	%	Yıl	Sayı	%
2005	3	3	2015	6	6

Yıl	Sayı	%	Yıl	Sayı	%
2007	1	1	2016	5	5
2008	1	1	2017	3	3
2009	1	1	2018	9	9
2010	1	1	2019	20	21
2011	2	2	2020	8	8
2012	3	3	2021	8	8
2013	1	1	2022	22	23
2014	1	1	Toplam	94	100

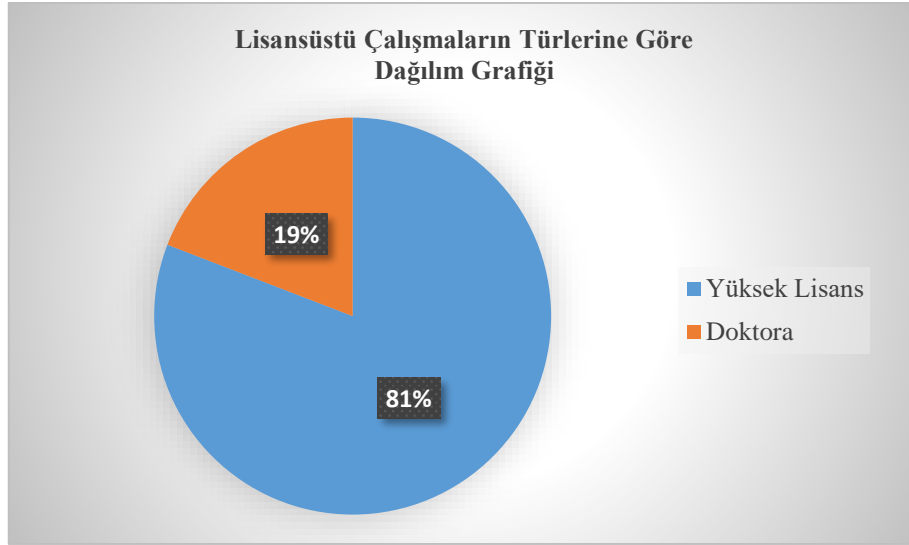


Şekil 3. Lisansüstü çalışmaların yıllara göre dağılım grafiği

Lisansüstü çalışmalar bibliyometrik analiz yöntemi ile türlerine göre analiz edilmiştir. Makale çalışmasının materyalini oluşturan 94 adet çalışma türlerine göre analiz edildiğinde 76 adet (%81) yüksek lisans çalışmasının, 18 adet (%19) doktora çalışmasının olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda 2022 yılı dahil olmak üzere yayımlanan lisansüstü çalışmaların yüksek lisans türünde daha fazla olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Tablo 3'te lisansüstü çalışmaların türlerine göre dağılımı ve Şekil 4'te türlerine göre dağılım grafiği gösterilmektedir.

Tablo 3. Lisansüstü çalışmaların türlerine göre dağılımı

Tür	Sayı	%
Yüksek Lisans	76	81
Doktora	18	19
Toplam	94	100

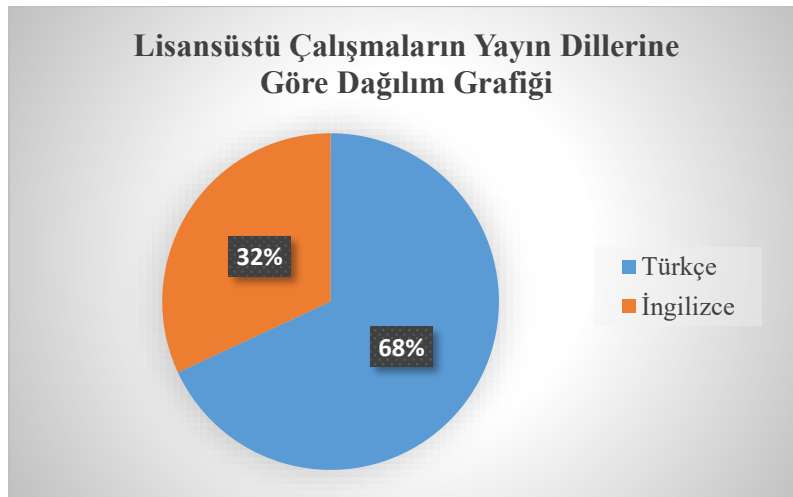


Şekil 4. Lisansüstü çalışmaların türlerine göre dağılım grafiği

Makale çalışması kapsamında belirlenen 94 adet lisansüstü çalışma yayın diline göre analiz edilmiştir. Buna göre çalışmaların 30 adet İngilizce dilinde ve geriye kalan 64 adet çalışmanın Türkçe dilinde hazırlandığı görülmüştür. Tablo 4'te lisansüstü çalışmaların yayın diline göre dağılımı ve Şekil 5'te yayın dilline göre dağılım grafiği gösterilmektedir.

Tablo 4. Lisansüstü çalışmaların yayın dillerine göre dağılımı

Yayın Dili	Sayı	%
Türkçe	64	68
İngilizce	30	32
Toplam	94	100

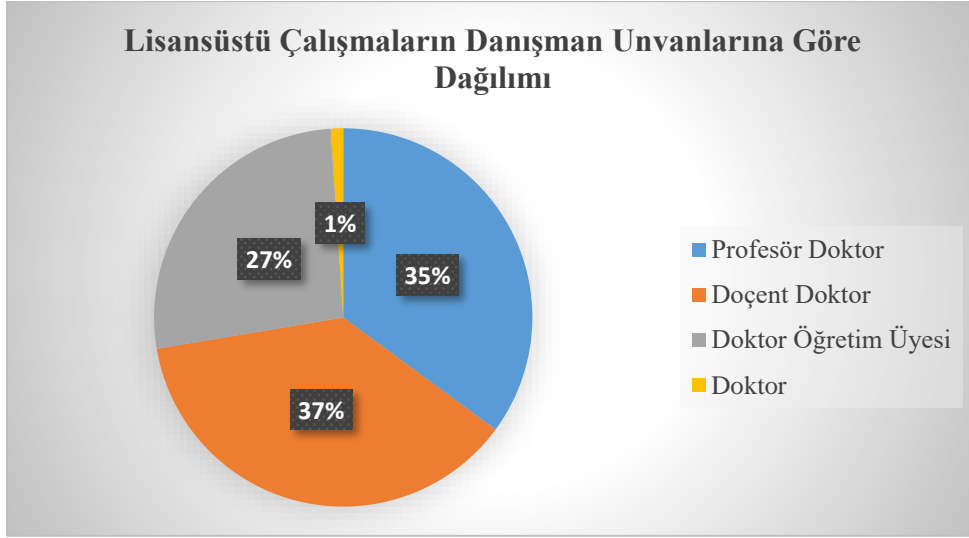


Şekil 5. Lisansüstü çalışmaların yayın dillerine göre dağılım grafiği

Analiz kapsamında incelenen lisansüstü çalışmaların 33 adedi (%35) Profesör doktor, 35 adedi (%38) doçent doktor, 25 adedi (%27) doktor öğretim üyesi unvanına sahip danışmanlar tarafından yönetilmiştir. Bu unvanların dışında 1 adet lisansüstü çalışmanın doktor unvanına sahip danışman tarafından yönetildiği tespit edilmiştir. Ayrıca 9 adet lisansüstü çalışmada iki adet danışman bulunmaktadır. Makale kapsamında danışman unvanlarına göre dağılım belirlenirken iki danışman tarafından yönetilen lisansüstü çalışmalarda birinci danışman esas alınarak dağılım hesaplanmıştır. Tablo 5'te lisansüstü çalışmaları yöneten danışmanların unvanlarına göre dağılımı ve Şekil 6'da da unvanlarına göre dağılım grafiği gösterilmektedir.

Tablo 5. Lisansüstü çalışmaların danışmanların unvanına göre dağılımı

Unvan	Sayı	%
Profesör Doktor	33	35
Doçent Doktor	35	38
Doktor Öğretim Üyesi	25	27
Doktor	1	1
Toplam	94	100

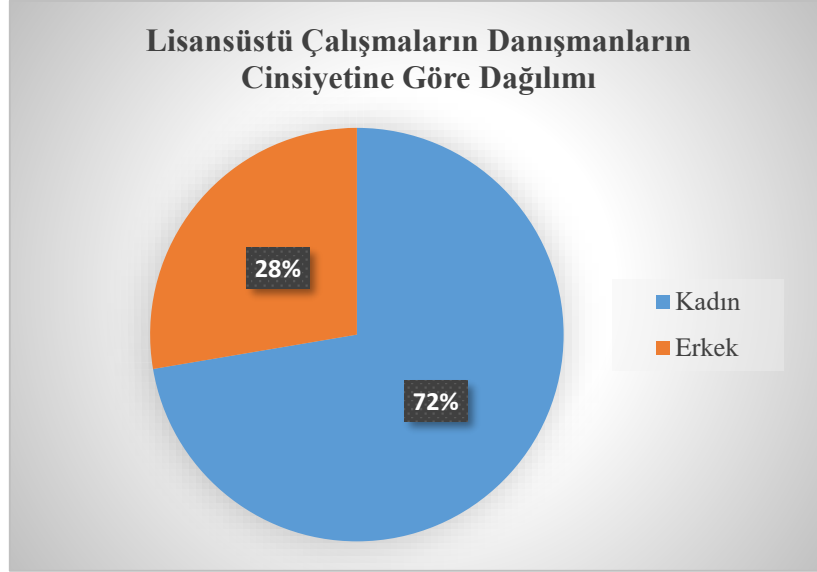


Şekil 6. Lisansüstü çalışmaların danışman unvanlarına göre dağılım grafiği

Lisansüstü çalışmaları yöneten danışmanların cinsiyetleri analiz edildiğinde 68 adedi (%72) kadın danışman, 26 adedi (%28) erkek danışman tarafından yönetilmiştir. Tablo 6'da lisansüstü çalışmaları yöneten danışmanların cinsiyetlerine göre dağılımı ve Şekil 7'de cinsiyetlerine göre dağılım grafiği gösterilmektedir.

Tablo 6. Lisansüstü çalışmaların danışmanların cinsiyetine göre dağılımı

Cinsiyet	Sayı	%
Kadın	68	72
Erkek	26	28
Toplam	94	100



Şekil 7. Lisansüstü çalışmaların danışmanların cinsiyetine göre dağılım grafiği

Mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların 24 adedi İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yazılmıştır. Tablo 7'de lisansüstü çalışmaların yazıldığı üniversitelere göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 7. Lisansüstü çalışmaların yayımlandıkları üniversiteye göre dağılımı

Üniversite Adı	Sayı	%
İstanbul Teknik Üniversitesi	24	26
Yıldız Teknik Üniversitesi	10	11
Orta Doğu Teknik Üniversitesi	6	6
Gazi Üniversitesi	5	5
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi	3	3
İstanbul Aydın Üniversitesi	3	3
Maltepe Üniversitesi	3	3
Konya Teknik Üniversitesi	3	3
Bahçeşehir Üniversitesi	3	3
Yaşar Üniversitesi	3	3
Dokuz Eylül Üniversitesi	3	3
Trakya Üniversitesi	2	2
Karabük Üniversitesi	2	2
Necmettin Erbakan Üniversitesi	2	2
Bursa Uludağ Üniversitesi		2
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	2	2
İstanbul Okan Üniversitesi	2	2
İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi	2	2
Haliç Üniversitesi	1	1
Karadeniz Teknik Üniversitesi	1	1
Gebze Teknik Üniversitesi	1	1
Dicle Üniversitesi	1	1
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	1	1
Doğu Akdeniz Üniversitesi	1	1
İstanbul Arel Üniversitesi	1	1
Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi	1	1
Aksaray Üniversitesi	1	1
İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi	1	1
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	1	1
Eskişehir Teknik Üniversitesi	1	1

Üniversite Adı	Sayı	%
İstanbul Gedik Üniversitesi	1	1
İstanbul Bilgi Üniversitesi	1	1
Toplam	94	100

Makale kapsamında incelenen 94 adet lisansüstü çalışmanın 73 adedi (%78) Fen Bilimleri Enstitüsünde, 18 adedi (%19) lisansüstü eğitim enstitüsünde hazırlanmıştır. Tablo 8’de lisansüstü çalışmaların hazırlandığı enstitülere göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 8. Lisansüstü çalışmaların hazırlandıkları enstitülere göre dağılımı

Enstitü	Sayı	%
Fen Bilimleri	73	78
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	18	19
Sosyal Bilimler Enstitüsü	1	1
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü	2	2
Toplam	94	100

Lisansüstü çalışmaların 79 adedinin (%84) adedinin Mimarlık Anabilim dalında hazırlandığı tespit edilmiştir. Tablo 9’da lisansüstü çalışmaların hazırlandığı anabilim dallarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 9. Lisansüstü çalışmaların hazırlandıkları anabilim dallarına göre dağılımı

Anabilim Dalı	Sayı	%
Mimarlık	79	84
Şehir ve Bölge Planlama	3	4
Peyzaj Mimarlığı	2	2
Kamu Yönetimi	1	1
Kültürel Mirası Koruma	1	1
İç Mimarlık	1	1
Bilişim	1	1
Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri	1	1
Restorasyon	1	1
Afet ve Savaş Sonrası İmar ve Rehabilitasyon	1	1
Mühendislik Yönetimi	1	1
Kentsel Tasarım	1	1
Yapı	1	1
Toplam	94	100

Lisansüstü çalışmaların 40 adedinin (%43) Mimarlık bilim dalında hazırlandığı tespit edilmiştir. Tablo 10’da lisansüstü çalışmaların hazırlandığı bilim dallarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 10. Lisansüstü çalışmaların hazırlandıkları bilim dallarına göre dağılımı

Bilim Dalı	Sayı	%
Mimarlık	40	43
Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi	12	13
Yapı	8	9
Mimari Tasarım	5	5
Yapı Fiziği ve Malzemesi	3	3
Peyzaj Mimarlığı	2	2
Kentsel Tasarım	2	2
Şehir ve Bölge Planlama	2	2
Yapı Bilgisi	2	2
Proje ve Yapım Yönetimi	1	1
Restorasyon	1	1
Bina Araştırma ve Planlama	1	1
Kamu	1	1
Bilgisayar Ortamında Mimarlık	1	1

Bilim Dalı	Sayı	%
Mimari Koruma ve Restorasyon	1	1
İç Mimarlık	1	1
Mimari Tasarımda Bilişim	1	1
Mimarlık Tarihi, Teorisi ve Eleştirisi	1	1
Bina Bilgisi	1	1
Rölöve-Restorasyon	1	1
Jeodezi Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri	1	1
Yapı Tasarımı	1	1
Afet Ve Savaş Sonrası İmar ve Rehabilitasyon	1	1
Mühendislik Yönetimi	1	1
Mimari Tasarım Sorunları	1	1
Kültürel Mirası Koruma	1	1
Mimarlık ve Tasarım	1	1
Toplam	94	100

Hazırlanan lisansüstü çalışmalar sayfa sayılarına göre analiz edildiğinde 1-100 sayfa aralığında 12 adet (%13), 101-200 sayfa aralığında 57 adet (%61), 201-300 sayfa aralığında 19 adet (%20) çalışmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda Tablo 11’de lisansüstü çalışmaların sayfa sayılarına göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 11. Lisansüstü çalışmaları hazırlayan yazarların cinsiyetlerine göre dağılımı

Sayfa Aralığı	Sayı	%
1-100	12	13
101-200	57	61
201-300	19	20
301-400	1	1
401-500	4	4
501-600	1	1
Toplam	94	100

Makale kapsamında bibliyometrik analiz yöntemimiz ile incelenen 94 adet lisansüstü çalışmanın yazarlarının cinsiyetlerine bakıldığında 67 adet (%71) çalışmanın yazarının kadın olduğu ve 27 adet (%29) çalışmanın yazarının erkek olduğu tespit edilmiştir. Tablo 12’de lisansüstü çalışmaları hazırlayan yazarların cinsiyetlerine göre dağılımı gösterilmektedir.

Tablo 12. Lisansüstü çalışmaları hazırlayan yazarların cinsiyetlerine göre dağılımı

Cinsiyet	Sayı	%
Kadın	67	71
Erkek	27	29
Toplam	94	100

İncelenen 94 adet lisansüstü çalışmada kullanılan anahtar kelimelere bakıldığında 24 adet çalışmada anahtar kelimenin olmadığı ve 1 adet lisansüstü çalışmaya erişilemediği için toplamda 25 adet lisansüstü çalışmada anahtar kelimeye ulaşılamamıştır. Tablo 13’te kullanılan anahtar kelimelerin lisansüstü çalışmalara göre dağılımları gösterilmektedir.

Tablo 13. Kullanılan anahtar kelimelerin lisansüstü çalışmalara göre dağılımı

Anahtar Kelimelerin Durumu	Sayı	%
Mevcut	69	73
Mevcut değil	24	26
Belirsiz	1	1
Toplam	94	100

Makale kapsamında anahtar kelimelerine göre erişilebilen ve analiz edilen 69 adet lisansüstü çalışmada toplam 274 adet anahtar kelime kullanılmıştır. Çalışmalarda “iklim değişikliği” anahtar kelimesi 13 defa,

“sürdürülebilirlik” anahtar kelimesi ise 11 defa kullanılmıştır. Tablo 14’te lisansüstü çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerin kullanım sıklığı gösterilmektedir.

Tablo 14. Kullanılan anahtar kelimelerin lisansüstü çalışmalardaki kullanım sıklığı

Anahtar Kelime	Kullanım Sıklığı
Ayamama, afet ve tasarım, afet risk yönetimi, afet hasarları, adaptasyon, antik yunan, 3B kent analizi, analitik hiyerarşi, apartman binası, akıllı cephe teknolojileri, afetler, atölye çalışması, Ali Gav Medresesi bütünleme, arkeolojik çevreler, Bizans, barınma, BEST, biyo-bilgili tasarım, biyo tasarım, biyo tabanlı malzemeler, biyomimesis, biyomimik cephe tasarımları, biyomimetik mimarlık, bina performansı, bina enerji performans simülasyonu, bina enerji simülasyonu, bina enerji iyileştirmeleri, bina enerji iyileştirmeleri, binalarda enerji verimliliği, betonart mimarlık yaz okulu (BMYO), Beypazarı, Bergama, biyoklimatik mimari, bina enerji performansı, BKAY, cam yapıya sahip kabuk, cam alan değişimleri, çağdaş ek, çağdaş konut, çatılar, çatı kaplama malzemeleri, ÇEDBİK konut sertifikası, çevre bilinci, çevresel sürdürülebilirlik, çevre korunumu, çevre dostu, çevre dostu bina, çevre dostu üretim, çevresel kaygı, çevresel analiz, çevresel etkiler, çevresel bozulma, çok amaçlı optimizasyon, çöküntü alanı, çift kabuk cephe sistemi, Distopya, duyarlı cephe sistemleri, doğal havalandırma, doğa, deney tasarımı, dünya miras alanı, Design Builder simülasyon programı, doğal afet, dönüşüm, enerPHit, ENVI-met, eğitim yapıları, ekoloji, ekolojik farkındalık, ekolojik şehircilik, ekolojik tasarım kriterleri, ekolojik-sürdürülebilir binalar, ekolojik ayak izi, ekolojik göstergeler, etkin enerji kullanımı, enformel eğitim, enerji, enerji tüketimi, enerji etkin bina tasarımı, enerji etkin yapılar, enerji etkin yapı tasarımı, enerji tasarrufu, enerji kredileri, enerji etkinliği, eski yerleşimler, etken ve edilgen yöntemler, Erdemli-Silifke, fotokataliz, fotokatalitik çimento, Fikirtepe, fenomenoloji, geleneksel yöntemler, güneş kırıcı uygulaması, güneş enerjisi, görselleştirme, gökyüzü görüş faktörü, Genius Loci, gelecek, Hartum bölgesi iklim verileri, hava kalitesi, hava temizleme, ısı performans, ısı konfor, ısı konfor seviyesi, ısıtma yükü, İzmir, insan ve konut inşaat malzemeleri, işlevsel sistemler, ilk yatırım maliyeti, iklim, iklimsel konfor, iklimle uyumlu tasarım, iklime dayalı tasarım, iklim değişikliği uyum ve etkilerinin azaltılması, kamusal farkındalık, kamusal mekan, kamusal alan, karar verme, kagir, kent, kent içi dere ve nehirler, kent içi sel ve taşkın, kentsel veri, kentsel morfoloji, kendi kendini temizleme, kentsel tasarım, kentsel sürdürülebilirlik, kentsel planlama, kentsel koruma, kentsel çöküntü alanları, kentsel kıyı alanları, kişisel norm, kıyı alanları, kıyı kentleri, Kocaeli, konut tasarımı, konut, kurgu ürünleri, kullanıcı katılımı, Libya kıyıları, LEED V4.1, LEED Yeşil bina sertifika sistemi, mekan dizim, miselyum, maliyet optimum çözüm, makine öğrenmesi, Mersin, mevcut binalar, mimari miras sel riski analiz modeli, mimari mekan, mimarlık eğitimi, mimarlık pedagojisi, nem, Nano TiO ₂ , Osmanlı, optimum yönelme, PVsyst, prekast, proje uygulaması, pasif performans, pasif yaşam koşulları, peyzaj, Roma, rejeneratif mimari, rejeneratif tasarım, rüzgar, rüzgar bacası, Selçuklu ve beylikler, Safranbolu, Saroz Körfezi, sağlık sorunları, sertifika sistemleri, sel zararı, simülasyon, stratejik analiz, sıcak-nemli iklim, sıcak-kuru iklim, su hasadı, su yönetimi, su kazancı, su, suyun etkin kullanımı, sürdürülebilir binalar, sürdürülebilir şehirler, sürdürülebilir yenileme, sürdürülebilir gelişim, sürdürülebilir yapı, sürdürülebilir yapı üretimi, sürdürülebilir kentleşme, sürdürülebilir kent içi hareketlilik, soğutma yükü, sosyal ekolojik hafıza, SUMP, savaş sonrası yeniden inşa, Suriye, şehir endeksleri, şebekeye bağlı fotovoltatik (PV) sistemler, TOPSİS, taşkın, tasarım, tasarım süreçleri, tasarım eğitimi, tarihi bina, tarihi hamam yapıları, tarihi yapılarda koruma, tuğla, toplu konut, toprak, termal performans, termal konfor, termal direnç, termal görüntüleme, turizm planlama, UNESCO, Urfa, üretim süreci, üretken model kentsel tasarım, yıkım, yağış toplama, yağış suyu depolama, yağmur suyu depolama yöntemleri, yapı, yapı kabuğu, yapı ürünleri, yaşam döngüsü maliyeti, yaşam döngüsü tasarım, yaşam döngüsü değerlendirme (YDD) ve fiyat, yeniden işlevlendirme, yeniden kullanım, yeniden kullanma, yerlisi ile dönüşüm, yerli bilgi, yeşilleme, yeşil altyapı, yeşil sertifikalar, Yunanistan iklim koşulları, yürünebilirlik ölçümü, yüksek yapılar, yüzey yapılar, yüzey albedo değerleri, zamana dayalı metrikler, Zuwara	1
Biyomimikri, BREEAM, Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Design Builder, deniz seviyesi yükselmesi, enerji simülasyonu, Faz değiştiren malzeme (FDM), hesaplamalı tasarım, kentleşme, koruma, malzeme, mimarlık, mimari tasarım, pasif tasarım, pasif ev, sıcaklık, sürdürülebilir mimari, sürdürülebilir ulaşım, sürdürülebilir tasarım, yağmur suyu hasadı, yenilenebilir enerji, yeşil bina, yeşil bina değerlendirme sistemleri,	2
Enerji etkin tasarım, kentsel ısı adası, sürdürülebilir kalkınma, sürdürülebilir mimarlık	3

alanında yapılan çalışmaların sayıca azlığı dikkat çekmektedir. Bu bibliyometrik analiz çalışmasının ilerleyen zamanda mimarlık alanında iklim değişikliği konusuna ağırlık verilmesine öncülük edeceği düşünülmektedir. Hazırlanan lisansüstü çalışmaların 76 adedi (% 81) yüksek lisans türünde hazırlanmakla birlikte doktora çalışmalarının sayıca daha az olduğu (18) tespit edilmiştir. Bu bağlamda mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu doktora çalışmalarının artırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çalışmaların %68 oranla (64 adet) Türkçe dilinde hazırlandığı, danışman unvanlarının %38 oranla (35 adet) Doçent Doktor olduğu ve %72 oranla (68 adet) kadın danışman tarafından yönetildiği belirlenmiştir. Ayrıca İstanbul Teknik Üniversitesinde %26 oranla (24 adet) daha fazla çalışmanın yapıldığı, çalışmaların genellikle (%78) Fen Bilimleri Enstitüsünde, %84 oranla Mimarlık anabilim dalında, %43 oranla Mimarlık bilim dalında, %71 oranla kadın yazar tarafından ve %61 oranla 101-200 sayfa aralığında hazırlandığı tespit edilmiştir. Lisansüstü çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelere bakıldığında 1 adet çalışmaya erişim sağlanamazken, erişim sağlanan 24 adet çalışmada anahtar kelimenin olmadığı kalan 69 çalışmada toplam 274 anahtar kelimenin kullanıldığı ve “iklim değişikliği” teriminin 13 defa “sürdürülebilirlik” teriminin 11 defa kullanıldığı saptanmıştır.

İklim değişikliği konusu, son yıllarda hem ulusal hem de uluslararası boyutta dikkate alınması gereken öncelikli konular arasında yer almaktadır. Kentler, hızla artan bina stokundan dolayı iklim değişikliğinin ekonomik, çevresel ve sosyal etkilerinden doğrudan etkilenmekte ve mağdur olmaktadır. İlerleyen süreçte bu etkilerin artacağı öngörülmektedir. İklim değişikliği kaynaklı olumsuzlukları en aza indirmek ve gerekli önlemleri almak kentlerin sürdürülebilirliği için önem arz etmektedir. İklim değişikliği konusunda farkındalığın oluşması için öncelikle eğitim alanında iklim değişikliği konusu vurgulanmalıdır. Özellikle mimarlık eğitiminde tasarımda seçilen yapı malzemesinin ve yapım tekniklerinin iklim değişikliğinin olası etkilerini artırmayacak, mekanik havalandırmaya ihtiyaç duymadan doğal havalandırma ve aydınlatma sağlayan tasarımların öne çıkması beklenmektedir. Bina stokunun iklim değişikliği üzerindeki etkisi bu kadar fazla iken tasarımda alınacak kararlar önem arz etmektedir. Bina yapım öncesi, bina yapım aşaması ve yapım sonrasında yani bina yaşam döngüsü boyunca tüketilen enerji sonucunda oluşan seragazi emisyon değerini azaltmak için tasarım önemli bir faktördür. Mimarlık eğitiminde iklim değişikliği konusu analiz edilerek, bölgesel çözüm önerileri oluşturulmalı, ortaklık ve katılım ilkesi ile hareket edilmelidir. Ayrıca yerel yönetimlerin uyguladığı yönetmelikler de önem arz etmektedir. Yönetmeliklerde iklim verilerine uygun yapı malzemeleri ve yapım teknikleri şart koşulmalıdır. Yapılan bu araştırma makalesi ile öncelikle akademi mimarlık alanında iklim değişikliği konusunun önemini vurgulanması amaçlanmıştır. Yapılan bibliyometrik analizlerle ulusal literatürdeki mevcut durum ortaya sunularak araştırmacıların konuya olan odağının artırılması hedeflenmektedir.

Bu bağlamda yapılan bibliyometrik analiz çalışmasında mimarlık araştırma alanında iklim değişikliği konulu lisansüstü çalışmaların farklı anabilim dalları ve bilim dallarında hazırlandığı, geniş yelpazede anahtar kelime kullanıldığı görülmektedir. Buradan hareketle bu çalışma farklı alanlarda çalışmaların artırılması ve gelecekteki çalışmalarda altlık olarak kullanılması, ulusal literatürün mevcut durumunu sunması açısından önemlidir. Günümüzde etkilerinin somut olarak daha fazla hissedildiği iklim değişikliğinin özellikle mimarlık araştırma alanında daha fazla çalışmaya konu edilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

1. **Johansson, E. & Emmanuel, R. (2006).** The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, International Journal of Biometeorology. Sri Lanka. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0047-6>
2. **Krüger, E. L., Minella, F. O. & Rasia, F. (2011).** Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Building and Environment, 46, 621–634. Brazil. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1109-4>
3. **Martínez, M. A., Cobo, M. J., Herrera, M. & Herrera-Viedma, E. (2015).** Analyzing the scientific evolution of social work using science mapping. Research on social work practice, 25(2), 257- 277.
4. **ULAKBİM, (2023).** Bibliyometrik Analiz Sıkça Sorulan Sorular – Cahit Arf Bilgi Merkezi (ulakbim.gov.tr) Erişim tarihi: 28 Ekim 2023.
5. **United Nations, (2018).** 2018 Revision of World Urbanization Prospects. <https://www.Un.Org/Development/Desa/Publications/2018-Revision-of-World-Urbanization-Prospects.Html> Erişim tarihi: 28 Ekim 2023.
6. **WGBC, (2023).** World green building Council annual report 2018/19, World Green Building Council, <https://www.worldgbc.org/>, Erişim tarihi: 18 Aralık 2023.

7. **Zhou, B., Rybski, D. & Jürgen, P. K. (2017).** The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Nature - Scientific Report*, 4791. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242>.

DATA ENVELOPMENT ANALYSIS AND MODELS IN HEALTHCARE SERVICES: A REVIEW

Hatice Dilaver^{1*}, Kâmil Fatih Dilaver²

¹Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty Of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Electrical And Electronic Engineering Pr., Niğde

Abstract

Data Envelopment Analysis (DEA) is a widely used method for measuring efficiency and performance in healthcare services. In this article, we will examine the role of DEA and the models used in the healthcare sector. DEA is a method used to measure the efficiency of units (such as hospitals, clinics) with multiple inputs and outputs. Essentially, data envelopment analysis conducts a performance analysis that shows how units utilize their existing resources and how they can optimize these resources. Units such as hospitals, clinics, and healthcare organizations must deliver more services with limited resources. DEA helps these organizations to use their resources most efficiently. DEA is used to increase operational efficiency, reduce costs, and improve service quality in healthcare services. There are various models available for data envelopment analysis. The most common ones include Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Data Envelopment Analysis (SDEA). While DEA is used for measuring efficiency that can be either constant or variable in scale, SDEA considers uncertainties and random effects. There are various advantages and disadvantages. Facilitates efficient use of resources, brings a data-driven approach to the decision-making process and objectively evaluates performance in healthcare services. Disadvantages are data deficiencies or poor quality may pose challenges in some cases and the complexity of the model may complicate the application and interpretation process. Data envelopment analysis in healthcare services is a powerful tool for measuring and improving the efficiency of organizations. However, proper use of data and careful application of the model are essential.

Keywords: Data Envelopment Analysis, healthcare services, efficiency measurement, efficiency models

1. Introduction

Data Envelopment Analysis (DEA) not only exposes the inefficiency of decision-making units but also elucidates the factors contributing to efficiency. This is crucial for businesses in strategizing, as decision-makers can readily determine adjustments in input and output quantities for inefficient units. Consequently, through this method, all decision-making units become enveloped by the efficiency frontier. Data envelopment analysis has been widely applied across various sectors, including healthcare, education, banking, and manufacturing, among others. In the healthcare sector, DEA has proven particularly valuable for assessing the performance of hospitals, clinics, and healthcare providers. By evaluating the efficiency of resource utilization and service provision, DEA enables healthcare organizations to identify areas for improvement and optimize their operations. Furthermore, DEA provides insights into best practices and benchmarks within the industry, allowing healthcare providers to benchmark their performance against peers and identify areas for enhancement. Additionally, DEA facilitates resource allocation decisions by highlighting inefficiencies and guiding the allocation of resources to maximize output while minimizing inputs. Despite its numerous advantages, data envelopment analysis also presents certain limitations and challenges. These include the need for high-quality data, the assumption of constant returns to scale, and the sensitivity of results to input and output selection. Moreover, interpreting DEA results requires careful consideration of the context and specific characteristics of the analyzed entities. Data envelopment analysis is a powerful tool for evaluating efficiency and performance in various sectors, including healthcare. By quantifying efficiency and identifying areas for improvement, DEA supports informed decision-making and resource optimization, ultimately contributing to enhanced productivity and competitiveness.

Data Envelopment Analysis (DEA) Notes: Data Envelopment Analysis (DEA) not only exposes the inefficiency of decision-making units (DMUs) but also elucidates the factors contributing to efficiency. This is crucial for businesses in strategizing, as decision-makers can readily determine adjustments in input and output quantities for inefficient units. Consequently, through this method, all decision-making units become enveloped by the efficiency

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):** Hatice DİLAVER;

Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty Of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Niğde, TÜRKİYE.

Geliş (Received) : 23.04.2024

Kabul (Accepted) : 14.10.2024

Basım (Published) : 31.12.2024

frontier.

DEA has been widely applied across various sectors, including healthcare, education, banking, and manufacturing, among others. In the healthcare sector, DEA has proven particularly valuable for assessing the performance of hospitals, clinics, and healthcare providers. By evaluating the efficiency of resource utilization and service provision, DEA enables healthcare organizations to identify areas for improvement and optimize their operations. Furthermore, DEA provides insights into best practices and benchmarks within the industry, allowing healthcare providers to benchmark their performance against peers and identify areas for enhancement.

Additionally, DEA facilitates resource allocation decisions by highlighting inefficiencies and guiding the allocation of resources to maximize output while minimizing inputs. Despite its numerous advantages, data envelopment analysis also presents certain limitations and challenges. These include the need for high-quality data, the assumption of constant returns to scale, and the sensitivity of results to input and output selection. Moreover, interpreting DEA results requires careful consideration of the context and specific characteristics of the analyzed entities.

Data envelopment analysis is a powerful tool for evaluating efficiency and performance in various sectors, including healthcare (Table 1). By quantifying efficiency and identifying areas for improvement, DEA supports informed decision-making and resource optimization, ultimately contributing to enhanced productivity and competitiveness.

Table 1. Data envelopment analysis (DEA) applications

Sector	Applications	Benefits
Healthcare	Hospitals, clinics, healthcare providers	Evaluating resource utilization efficiency, identifying best practices, benchmarking, resource allocation
Education	Schools, universities, educational programs	Improving educational quality and resource efficiency
Banking	Banks, financial institutions	Evaluating financial performance, enhancing service efficiency
Manufacturing	Production facilities, factory processes	Enhancing production process efficiency, optimizing resources
Public Sector	Municipal services, public service providers	Increasing efficiency and effectiveness of public services

1.1. Data Envelopment Analysis

Data Envelopment Analysis (DEA) is a mathematical-based and non-parametric method for measuring efficiency. Originally proposed by Farrell (1957) as a single-input and single-output efficiency measurement method, this approach gained acceptance among some authors. Following Farrell's work, Boles (1966) and Afraït (1972) proposed some suggestions based on mathematical programming for determining the production frontier. However, these proposals did not attract much attention. By the late 1970s, Charnes, Cooper, and Rhodes developed data envelopment analysis based on Farrell's proposed efficiency measurement theory. The first method developed for data envelopment analysis was named the CRR model under the assumption of constant returns to scale. Subsequently, the BCC model, which added convexity constraint to the CRR model, was developed under the assumption of variable returns to scale. This model for data envelopment analysis was proposed by Banker, Charnes, and Cooper. While the method proposed by Charnes, Cooper, and Rhodes measures scale efficiency and technical efficiency, the method proposed by Banker, Charnes, and Cooper measures only technical efficiency (Coelli, 1996). These two methods developed for inputs and outputs have enhanced the capability of evaluating and interpreting the results of data envelopment analysis. Moreover, it has expanded the scope of application. Data envelopment analysis identifies decision-making units within observation sets that produce the most outputs with the least inputs and form the efficiency frontier. Decision-making units can be defined as businesses, intra-organization departments, or economic organizations responsible for converting certain inputs into certain outputs. Data envelopment analysis measures the efficiency levels of decision-making units radially according to this frontier. Additionally, using linear programming models with multiple input and output variables, it obtains a single efficiency score for observation sets. The inputs and outputs in question consist of different production factors depending on the sector in which the decision-making units are located. Data envelopment analysis, which measures how efficiently decision-making units use their resources, evaluates the efficiency score of the best

performance as '1'. Efficiency scores of other decision-making units vary between 0 and 1. Therefore, observations below the frontier take non-negative values less than 1 (Cooper, Seiford et al., 2006). While data envelopment analysis reveals the inefficiency of decision-making units, it can also identify the sources of efficiency. This is important for businesses in determining strategies because decision-makers can easily decide on increasing or decreasing input and output quantities for inefficient units. Therefore, through this method, all decision-making units will be enveloped by the efficiency frontier.

1.2. Application Areas of Data Envelopment Analysis

The application areas of encompass units within competitive financial, manufacturing, and service sectors, both domestically and internationally. This method has been applied in various fields, including healthcare, banking, manufacturing, education, management performance evaluations, public institutions, restaurants, and wholesalers, regardless of whether they are public or private sector entities. The method is utilized to comparatively measure the efficiency of businesses with similar objectives. While initially finding application in non-profit public institutions, DEA later extended its application to for-profit service and production enterprises. Particularly in production and service sectors, it is widely used for the comparative measurement of efficiency among enterprises. Despite the wide range of applications for data envelopment analysis, in our country, its usage has primarily been limited to academic research in operations and economics. However, in recent years, its application has expanded, particularly in the banking and healthcare sectors. Although factors such as the complex nature of the method, difficulty in accessing fundamental data sets for application, and the lack of data infrastructure in public institutions have restricted the application scope of the method in our country, package programs developed in recent years have greatly facilitated the proliferation of data envelopment analysis. Through these developed package programs, businesses have gained advantages in determining their goals, objectives, effective operational areas, strategies, and observing efficiency changes over time, as well as ensuring proper resource allocation (Yeşilyurt, 2009).

Package Program for Data Envelopment Analysis: Here is a sample package program description for Data Envelopment Analysis (DEA) in English:

Data Envelopment Analysis (DEA) Package Program:

Overview: This package program is designed to facilitate the application of Data Envelopment Analysis (DEA) in various sectors, including healthcare, banking, manufacturing, education, and public institutions. It provides tools for the comparative measurement of efficiency among businesses with similar objectives, whether they are in the public or private sector.

Features:

- **User-Friendly Interface:** Simplified interface for easy navigation and usage.
- **Data Import and Export:** Supports importing data from various sources and exporting results in multiple formats.
- **Efficiency Measurement:** Provides comprehensive tools for measuring the efficiency of decision-making units (DMUs) using DEA.
- **Benchmarking:** Allows businesses to benchmark their performance against peers and industry standards.
- **Resource Allocation:** Facilitates optimal resource allocation by identifying inefficiencies and suggesting improvements.
- **Time-Series Analysis:** Enables tracking efficiency changes over time to monitor performance trends.
- **Sector-Specific Modules:** Includes specialized modules for healthcare, banking, manufacturing, education, and public institutions.
- **Advanced Analytics:** Offers advanced analytical tools for in-depth analysis and reporting.

Benefits:

- **Improved Decision-Making:** Supports informed decision-making by providing insights into efficiency and areas for improvement.

- **Enhanced Resource Utilization:** Helps businesses optimize their operations by ensuring proper resource allocation.
- **Competitive Advantage:** Provides a competitive edge by identifying best practices and benchmarks within the industry.
- **Scalability:** Suitable for both small and large enterprises across various sectors.
- **Ease of Use:** Designed to simplify the application of DEA, even for users with limited technical expertise.

Application:

- **Healthcare:** Evaluate the performance of hospitals, clinics, and healthcare providers.
- **Banking:** Assess the efficiency of financial institutions and banks.
- **Manufacturing:** Measure the efficiency of production facilities and processes.
- **Education:** Evaluate the performance of schools, universities, and educational programs.
- **Public Institutions:** Enhance the efficiency and effectiveness of public services.

Requirements:

- Compatible with major operating systems (Windows, macOS, Linux).
- Requires basic statistical and operational research knowledge for advanced features.

Support:

- Comprehensive user manual and online tutorials.
- Customer support available via email and phone.
- Regular updates and maintenance to ensure optimal performance.

By utilizing this DEA package program, businesses can effectively determine their goals, objectives, operational areas, strategies, and observe efficiency changes over time, ultimately contributing to enhanced productivity and competitiveness.

Data envelopment analysis provides better results compared to other economic methods in measuring the efficiency of hospitals. Studies conducted by Sherman (1984) and Ehreth (1994) support this assertion. An example of data envelopment analysis applied to hospitals, hospital departments, and medical care centers is described below. The first study on data envelopment analysis was conducted by David Sherman. In his doctoral thesis, Sherman evaluates the surgical and examination departments of 15 hospitals. The researcher obtained evaluation results using data envelopment analysis and later compared them with results obtained through different statistical methods. In this study, where performance evaluation was conducted, Sherman presented the more effective results of data envelopment analysis in an article format. In another study conducted by Grosskopf and Valdmanis, the relationship between efficiency and ownership form in public hospitals was examined. Ownership form was defined as for-profit hospitals and non-profit hospitals. Inputs defined for the evaluation of 82 hospitals included the number of outpatient rooms, number of physicians, number of other healthcare personnel, and net fixed assets. Outputs included the number of inpatients, number of surgeries, number of emergency room patients, and number of treated patients. According to the research findings, for-profit hospitals operate more efficiently (Sherman, 1984).

Example of Data Envelopment Analysis (DEA) Application in Türkiye:

Research Study; Efficiency Analysis of Public Hospitals in Türkiye: A study evaluating the efficiency of public hospitals using data envelopment analysis (DEA) was conducted at Istanbul University's Faculty of Economics. This study aimed to measure the efficiency of public hospitals in Türkiye and identify areas for improvement using the DEA method.

Research Topic: Efficiency analysis of public hospitals.

Research Method: Data envelopment analysis (DEA).

Research Data:

- **Inputs:**
 - Number of beds
 - Number of doctors
 - Number of nurses
 - Number of healthcare personnel

- **Outputs:**
 - Number of inpatients
 - Number of surgeries
 - Number of emergency room patients
 - Number of outpatient visits

Research Findings: The study evaluated the efficiency levels of public hospitals comparatively. The results indicated that hospitals with lower efficiency need to improve their resource utilization and service delivery. It was emphasized that efficiency could be increased by effectively utilizing inputs such as the number of beds and the number of doctors.

Recommendations:

- **Efficient Use of Resources:** Hospitals can increase efficiency by using their existing resources more effectively.
- **Improvement Areas:** Improvement efforts should be made in units with low efficiency.
- **Benchmarking:** Practices of efficient hospitals can be emulated in other hospitals.

Conclusion: This study demonstrates that DEA is an effective tool for determining the efficiency levels of public hospitals in Türkiye and identifying areas for improvement. Hospitals are advised to consider DEA results in their strategic planning and to use their resources more effectively.

This example study highlights a significant application of data envelopment analysis in Türkiye. Similar studies can be conducted in other sectors and public institutions in Türkiye to enhance efficiency using the DEA method.

Data envelopment analysis (DEA) has become increasingly prevalent in the healthcare sector due to its ability to provide valuable insights into the efficiency and performance of hospitals and healthcare providers. This method allows for a comprehensive evaluation of various aspects of healthcare delivery, including resource utilization, service provision, and overall operational effectiveness. One notable study conducted by Sherman (1984) examined the performance of surgical and examination departments in 15 hospitals using DEA. The results of this study demonstrated the effectiveness of DEA in evaluating hospital efficiency compared to other statistical methods. Similarly, Ehreth (1994) conducted research that further validated the utility of DEA in measuring hospital efficiency. Moreover, DEA has been used to investigate the relationship between efficiency and ownership form in public hospitals. Grosskopf and Valdmanis (1984) analyzed 82 hospitals and found that for-profit hospitals tend to operate more efficiently compared to non-profit hospitals. This finding underscores the importance of organizational structure and incentives in driving efficiency within the healthcare sector. Overall, the application of data envelopment analysis in healthcare has provided valuable insights for decision-makers, allowing them to identify areas for improvement, optimize resource allocation, and enhance overall performance. As the healthcare landscape continues to evolve, DEA remains a valuable tool for evaluating and improving the efficiency of healthcare delivery systems.

One notable study conducted by Sherman (1984) examined the performance of surgical and examination departments in 15 hospitals using DEA. The results of this study demonstrated the effectiveness of DEA in evaluating hospital efficiency compared to other statistical methods. Similarly, Ehreth (1994) conducted research that further validated the utility of DEA in measuring hospital efficiency. In addition to these studies, Charnes,

Cooper, and Rhodes (1978), the original developers of DEA, applied the method to evaluate the efficiency of educational programs, showcasing its versatility beyond the healthcare sector. Their findings highlighted the potential of DEA to identify best practices and areas needing improvement in various fields. Another significant study by Banker, Conrad, and Strauss (1986) applied DEA to nursing homes, revealing that ownership type and scale of operation significantly impact efficiency. Their research indicated that larger nursing homes with better resource management practices achieved higher efficiency scores, emphasizing the importance of scale and management quality in operational efficiency. Moreover, a study by Ozcan and Luke (1993) applied DEA to analyze the efficiency of 79 community health centers in the United States. The results showed considerable variability in efficiency among the centers, with some centers achieving high efficiency through optimal resource utilization and others lagging due to inefficient practices. This study underscored the critical role of management strategies in determining healthcare efficiency. Lastly, a study by Hollingsworth, Dawson, and Maniadakis (1999) conducted a comprehensive review of DEA applications in healthcare, covering over 100 studies. They concluded that DEA is a robust tool for assessing efficiency across different healthcare settings, providing actionable insights for policymakers and healthcare administrators.

Overall, the application of data envelopment analysis in healthcare has provided valuable insights for decision-makers, allowing them to identify areas for improvement, optimize resource allocation, and enhance overall performance. As the healthcare landscape continues to evolve, DEA remains a valuable tool for evaluating and improving the efficiency of healthcare delivery systems.

1.3. Implementation Steps of Data Envelopment Analysis

The first stage of DEA involves the selection of decision-making units (DMUs) for comparative efficiency measurement, as proposed by Charnes, Cooper, and Rhodes. DMUs are defined as entities responsible for transforming specific inputs into desired outputs, such as businesses, intra-organizational departments, or economic organizations. When selecting DMUs, attention should be paid to ensuring that they perform similar tasks and functions, operate under similar market conditions, and have homogeneous structures, meaning similar inputs and outputs. The selection of DMUs is crucial not only as the initial step of DEA but also for the validity and accuracy of the results. Additionally, the number of DMUs included in the analysis is important for the reliability of the study. Different opinions exist regarding the determination of the number of DMUs. According to Dyson et al., the number of DMUs should be at least twice the number of inputs and outputs, while Cooper et al. suggest a formula based on the numbers of DMUs, inputs, and outputs. When there are insufficient DMUs in the observation set, a degrees of freedom problem arises. This problem occurs when the number of DMUs remains constant, but the number of inputs and outputs increases. This situation reduces the discriminatory power of DEA and leads to many DMUs being identified as efficient. On the other hand, having too many DMUs can negatively affect homogeneity, as external factors unrelated to the analysis may influence the results. Therefore, caution is needed when interpreting results in models where the number of DMUs approaches the total number of inputs and outputs. (Cooper et al. 2007)

The second stage of DEA involves the selection of input and output variables. After selecting DMUs, input and output factors need to be defined. The values obtained from the activities of DMUs are considered outputs, while the specific characteristics possessed when obtaining outputs are defined as inputs. Therefore, the selection of input/output variables may vary depending on the purpose. The results of DEA depend on the input and output factors used. Hence, selecting a sufficient number of effective variables is necessary to obtain meaningful results accepted by managers. If changes are required in the numbers of input and output factors during the analysis process (increases or decreases), adjustments must also be made to the number of DMUs. Adding many inputs and outputs to the model reduces its ability to distinguish between efficient and inefficient DMUs. Consequently, as input and output quantities increase, the efficiency levels of DMUs also increase, leading to inaccurate reflections of the efficiency levels of the DMUs being analyzed. (Dyson et al., 2001)

DEA Input and Output Selection Process:

*1. Define Decision-Making Units (DMUs):

- Select DMUs for analysis.

***2. Identify Inputs and Outputs:**

- Inputs: Factors affecting the production process (e.g., resources used).
- Outputs: Results or outcomes of the production process (e.g., services or goods produced).

***3. Determine Input/Output Variables:**

- Choose relevant variables based on the analysis objective.

***4. Analyze DEA Results:**

- Input/Output Selection Impact:
 - Results are highly dependent on chosen variables.
 - Sufficient and effective variables ensure meaningful results.

***5. Adjust Number of DMUs if Necessary:**

- If Increasing Inputs/Outputs:
 - Adjust the number of DMUs to maintain the model's discriminatory power.
- If Decreasing Inputs/Outputs:
 - Ensure the number of DMUs still supports accurate results.

***6. Evaluate Model Efficiency:**

- Too Many Inputs/Outputs:
 - Can reduce the model's ability to distinguish between efficient and inefficient DMUs.
- Proper Balance:
 - Helps achieve accurate efficiency reflections.

***7. Iterate and Refine:**

- Adjust inputs/outputs and DMUs based on analysis needs and results. (Dyson et al. 2001)

The third stage of data envelopment analysis involves obtaining and ensuring the reliability of the dataset to be used in the research. Complete data sets are necessary for each DMU. If data is missing, either the DMU is excluded from the analysis, or additional input and output factors are defined for that DMU. The same applies if there is doubt about the reliability of the data. However, excluding any DMU from the analysis affects the efficiency values of the other DMUs. Therefore, to ensure reliability at the beginning of the analysis, high-quality data sets with high-quality inputs and outputs must be used (Hollingsworth, 2003).

After obtaining the dataset and ensuring its reliability, the fourth stage is model selection and efficiency measurement. There are many models used in data envelopment analysis for specific problems. These models, which are classified into two main groups, are input-oriented and output-oriented. The models named after researchers are referred to as CCR (Charnes, Cooper, and Rhodes) and BCC (Banker, Charnes, and Cooper). When selecting the model, an input-oriented model is preferred if the focus is on inputs, and an output-oriented model is preferred if the focus is on outputs. More detailed information about the models will be provided in the following section. Following model selection, the next step is relative efficiency measurement. The relative efficiencies of DMUs range from 0 to 1. A value of 1 represents efficiency for DMUs, while other efficiency scores represent inefficiency. In data envelopment analysis, by examining the input and output factors of DMUs, the efficiency frontier is formed by those with the best performance. All points not on the efficiency frontier are considered inefficient. The relative efficiency measurement of data envelopment analysis can be conducted in two stages. The first is to identify the "best observations" within the observation sets that use the least input to produce the most output. The second is to accept the selected best observation set as a reference and measure the distances of the inefficient observations from the specified boundary radially (Hollingsworth, 2003).

The final stage of data envelopment analysis involves evaluating the results. A detailed evaluation is conducted considering all inputs and outputs for each DMU. A situational assessment is made for DMUs in their respective industry branches. However, this situational assessment is only made based on the compared DMUs. The evaluation process in data envelopment analysis involves a comprehensive assessment of each decision-making unit (DMU) considering all inputs and outputs. This evaluation helps provide insights into the performance of DMUs within their respective industry contexts. However, it's essential to note that the evaluation is comparative and focuses on the DMUs included in the analysis. Once the efficiency scores are calculated for each DMU, they are interpreted to identify the most efficient units and those that are inefficient. Efficiency scores closer to 1 indicate higher efficiency, while scores closer to 0 indicate lower efficiency. The efficiency frontier represents the boundary of efficient DMUs, beyond which lie the inefficient DMUs. The results of the analysis are then used to make informed decisions and recommendations for improving efficiency and performance. Inefficient DMUs can use the findings to identify areas for improvement and implement strategies to enhance their performance. On the other hand, efficient DMUs can serve as benchmarks for others to emulate, providing insights into best practices and potential areas for optimization. Furthermore, sensitivity analysis can be conducted to assess the robustness of the results and examine how changes in inputs or outputs affect the efficiency scores. This analysis helps validate the findings and provides additional insights into the performance of DMUs under different scenarios. Overall, the evaluation stage of data envelopment analysis is crucial for deriving meaningful insights and guiding decision-making processes aimed at enhancing efficiency and performance in various industries and sectors.

Here's a detailed description of the final stage of Data Envelopment Analysis (DEA), including examples for both efficient and inefficient DMUs:

Final Stage of Data Envelopment Analysis (DEA): Evaluation of Results:

***1. Comprehensive Assessment:**

- Evaluate each DMU based on all selected inputs and outputs.
- Consider the context of each DMU within its industry.

***2. Comparative Analysis:**

- The assessment is comparative and focused only on the DMUs included in the analysis.
- Efficiency scores are calculated, with scores closer to 1 indicating higher efficiency and scores closer to 0 indicating lower efficiency.

***3. Efficiency Frontier:**

- Represents the boundary of efficient DMUs.
- DMUs on this frontier are deemed efficient, while those below it are inefficient.

***4. Interpretation and Recommendations:**

- **Efficient DMUs:** Serve as benchmarks and provide insights into best practices and areas for optimization.
- **Inefficient DMUs:** Use findings to identify improvement areas and implement strategies to enhance performance.

***5. Sensitivity Analysis:**

- Assess how changes in inputs or outputs affect efficiency scores.
- Helps validate findings and provides insights into DMU performance under different scenarios.

***6. Decision-Making:**

- Results guide decisions aimed at improving efficiency and performance.

Examples:***1. Example of Efficient DMU:**

Scenario: A chain of retail stores

- **Inputs:** Number of employees, store size, and inventory level.
- **Outputs:** Sales revenue, customer satisfaction, and number of transactions.

DEA Results: Store A has an efficiency score of 0.95, indicating high efficiency compared to other stores in the chain.

- **Interpretation:** Store A effectively uses its inputs to generate outputs. It can serve as a benchmark for other stores.
- **Recommendation:** Other stores should analyze Store A's practices, such as inventory management and staff training, to improve their performance.

***2. Example of Inefficient DMU:**

Scenario: Public hospitals

- **Inputs:** Number of beds, medical staff, and operating expenses.
- **Outputs:** Number of patients treated, surgeries performed, and patient satisfaction.

DEA Results: Hospital B has an efficiency score of 0.65, indicating inefficiency compared to other hospitals in the analysis.

- **Interpretation:** Hospital B is not using its inputs effectively to achieve optimal outputs.
- **Recommendation:** Hospital B should assess its processes and resource allocation to identify areas for improvement, such as optimizing staffing levels or reducing operating costs.

***3. Sensitivity Analysis Example:**

Scenario: Manufacturing plant

- **Inputs:** Machine hours, labor hours, and raw materials.
- **Outputs:** Units produced and product quality ratings.

Sensitivity Analysis Results:

Increasing raw material input by 10% while keeping other inputs constant shows a slight increase in efficiency score from 0.75 to 0.78.

- **Interpretation:** The plant's efficiency is moderately sensitive to changes in raw material usage, indicating that improvements in raw material management could enhance overall efficiency.

Conclusion:

The final stage of DEA is crucial for understanding the performance of DMUs and making informed decisions. Efficient DMUs provide benchmarks for best practices, while inefficient DMUs gain insights into potential improvements. Sensitivity analysis further validates results and helps explore how changes in inputs or outputs impact efficiency.

2. Models Used in Data Envelopment Analysis

In DEA, there are several models for determining the efficiency scores of decision-making units based on input and output weights. Each model diverges into input-oriented and output-oriented approaches within the theoretical development process according to the return-to-scale conditions. Input-oriented approaches investigate 'How much can inputs be proportionally reduced while keeping the output quantity constant?' while output-oriented approaches explore 'How much can output quantities be proportionally increased while keeping the input quantity constant?' (Kutlar & Babacan, 2008). The choice of which type of model to use in data envelopment analysis generally depends on the scope of the research and the assumptions made. Accordingly, in our study, data envelopment analysis models are examined in two groups based on return-to-scale conditions. The first group is based on the Constant Return to Scale (CRS) assumption, which was proposed by Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) in 1978, and the second group is based on the Variable Return to Scale (VRS) assumption, developed by Banker, Charnes, and Cooper (BCC) (Cooper et al., 2006).

In DEA, the CRS model assumes that increasing inputs proportionally increases outputs, maintaining constant returns to scale. On the other hand, the VRS model allows for variable returns to scale, meaning that increasing inputs may not result in a proportional increase in outputs, and vice versa. The choice between these models depends on the context of the analysis and the specific goals of the research. For instance, if the focus is on minimizing input usage while maintaining current output levels, the input-oriented CRS model might be appropriate. Conversely, if the goal is to maximize output levels given a fixed amount of inputs, the output-oriented VRS model might be more suitable. Overall, understanding the underlying assumptions and implications of each model is crucial for selecting the most appropriate approach for a particular DEA analysis (Cooper, Seiford et al., 2006).

2.1. Charnes, Cooper, Rhodes Model

The model developed by Charnes, Cooper, and Rhodes is based on the assumption of constant returns to scale (CRS) and is grounded in linear programming principles. Within the framework of the CRS assumption, the model performs a total efficiency measurement. It identifies inefficient resources and provides information about their quantities. The model utilizes the concepts of virtual inputs and virtual outputs to encompass multiple input and output situations. The virtual input represents the weighted sum of all produced outputs. These weights, included in the weighted sum, are considered decision variables in the maximization problem of decision-making units. By solving the CRS model 'n' times, input and output weights are obtained, along with the efficiency frontier. Under the assumption of constant returns, this efficiency frontier is considered valid for decision-making units operating at the optimal scale. It is also assumed that at least one decision-making unit lies on this efficiency frontier, which serves as the criterion for relative efficiency (Cooper, Li et al., 2001).

In the DEA model, if there are N inputs and M outputs for each of the I decision-making units, the input vector and the output vector y_i for the i th decision-making unit are defined. The data for all I decision-making units are represented by input matrix X and output matrix Y. The easiest way to explain data envelopment analysis is through the ratio form. The aim is to obtain the ratio of outputs over inputs for each firm. This situation is expressed by the following formula:

$$u = QXu = XQ$$

In the formula, u represents the output weight vector, v represents the input weight vector. The optimal weights are obtained by solving the following mathematical formula (Coelli et al., 2005).

Objective function:

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij} \quad \text{Maximize } \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij}$$

Subject to:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij} &\leq \theta \cdot \sum_{j=1}^N u_j \cdot x_{ij} & \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij} &\leq \theta \cdot \sum_{j=1}^N u_j \cdot x_{ij} \\ \theta \cdot \sum_{j=1}^N u_j \cdot x_{ij} &\leq \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij} & \sum_{j=1}^N u_j \cdot x_{ij} &\leq \sum_{j=1}^M v_j \cdot y_{ij} \\ \theta &\leq 1 & \theta &\leq 1 \end{aligned}$$

For each decision-making unit, where $j = 1, 2, 3, \dots, I$.

This formulation ensures finding u and v values that maximize the efficiency of the The constraint formulated ensures that the efficiency score is equal to or less than 1, mandating the generation of an infinite number of solutions. To prevent this, a new constraint is added to the formulation (T. Coelli, 1996):

$$\theta = 1 - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} + \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} \theta = 1 - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} + \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij}$$

This constraint leads us to the following formula:

$$\begin{aligned} \theta &\geq 0 \theta \leq 1 \\ \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} - \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} &\leq 1 - \theta \\ \theta &\geq 1 - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} + \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} \\ \theta &\leq 1 \theta \leq 1 \end{aligned}$$

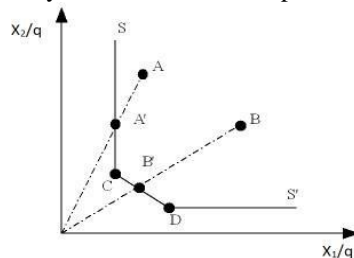
To specify a different linear programming model, a change from u and v to μ and v is made. This form is known as the multiplier form of linear programming model. Using binary linear programming, the equivalent envelope form of this problem is obtained with the following formula (Ramanathan, 2003):

$$\begin{aligned} \theta = \sum_{i=1}^I \lambda_i \cdot (1 - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} + \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij}) \theta = \sum_{i=1}^I \lambda_i \cdot (1 - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} + \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij}), \lambda_i \geq 0 \lambda_i \geq 0 \\ \sum_{i=1}^I \lambda_i = 1 \sum_{i=1}^I \lambda_i = 1 \end{aligned}$$

This formula represents the numerical value of θ, expressing the vector λ. The envelope form created contains several constraints compared to the multiplier form, thus generally being the preferred solution form (N+M<I+1). Here, the value of θ is obtained from the efficiency score of the i-th firm. According to Farrell, θ ≤ 1. Hence, it represents the technically efficient firm on the boundary. The linear programming form must be solved for each firm. Therefore, the value of θ is obtained separately for each firm (T. Coelli, 1996).

Data envelopment analysis, as a non-parametric frontier analysis, may pose some challenges in efficiency measurement. The problem encountered here stems from the fact that the piecewise linear boundaries run parallel to the axes. This situation is mostly observed in non-parametric methods, whereas it rarely occurs in parametric methods. To explain this problem, Figure 1 will be utilized.

Figure 1: Efficiency measurement and input slack (Coelli, 1996)



To illustrate the problem in the figure, efficient firms C and D are compared with inefficient firms A and B. For the inefficient firms A and B, the efficiency ratios are measured as OA'/OA and OB'/OB, respectively. In the figure, it is investigated whether the input amounts used by the input surplus firms A and B can be reduced while maintaining the same output levels. This situation is known as input slack in the literature. Similarly, the output slack situation arises when there are more inputs or multiple outputs. Some authors within data envelopment analysis suggest considering and reporting both Farrell's measurement and non-zero input and output slacks for a more accurate technical efficiency indicator. If:

$$\sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} - \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} = 0 \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} - \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} = 0$$

Then, the output slack for the i-th firm will be 0. Similarly:

$$\sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} = 0 \sum_{j=1}^n u_j \cdot x_{ij} - \sum_{j=1}^m v_j \cdot y_{ij} = 0$$

Then, the input slack will be 0. This situation will be elaborated on in detail regarding the input-oriented CRR efficiency (T. J. Coelli, Rao et al., 2005).

2.2. Input-oriented CRR model

The input-oriented CRR model investigates how much the input quantity needs to be reduced to reach the existing output level without changing the output quantity. In a data envelopment analysis, if there are n decision-making units with m inputs and s outputs, the model aims to maximize the output/input ratio for the j th decision-making unit, which can be expressed as a fractional form of the VZA model (Charnes et al., 1978):

$$\sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj} \sum_{i=1}^m u_{ki} \cdot x_{ij} \sum_{i=1}^m u_{ki} \cdot x_{ij} \sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj}$$

Here, v_{kr} and u_{ki} represent the weights given by the k th decision-making unit for the r th output and i th input, respectively (Charnes, Cooper et al., 1978).

Constraint:

$$j=1, \dots, n; k=1, \dots, n \\ v_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0, v_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0$$

The constraint added in Equation 2.17 ensures that the efficiency score of each decision-making unit does not exceed 1. The additional constraints in Equations 2.18 and 2.19 prevent negative input and output weights. Symbols used in the equations:

- kk : Number of decision-making units
- v_{kr} : Weight given to the r th output by the decision-making units
- u_{ki} : Weight given to the i th input by the decision-making units
- y_{rj} : Output produced by the j th decision-making units
- x_{ij} : Input used by the j th decision-making units
- nn : Number of decision-making units (Cvetkoska, 2011).

To solve this model based on linear programming principles, Cooper et al. transformed it in 1962. As a result of the transformation, the objective function of the model is expressed as:

Maximize θ Maximize θ

Constraints:

$$\theta \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s u_{ki} \cdot x_{ij} \cdot \theta \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s u_{ki} \cdot x_{ij} \\ v_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0, v_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0 \\ \theta \leq 1, \theta \leq 1 \\ \theta \geq 0, \theta \geq 0$$

The input oriented CRR model, developed under the assumption of constant returns to scale, measures relative total efficiency. Data envelopment analysis models can be expressed in primal and dual forms, like linear programming models. The dual model is preferred as it provides more important managerial insights compared to the primal model. The dual form of the input-oriented CRR model is shown as follows (Ramanathan, 2003):

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \text{ Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu_{ij} - \sum_{r=1}^s \sum_{j=1}^n \lambda_{rj}$$

Subject to: $\mu_{ij} \geq 0, \lambda_{rj} \geq 0, \mu_{ij} \geq 0, \lambda_{rj} \geq 0$

$$\sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} \geq 0 \quad \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} \geq 0 \\ \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} = 0 \quad \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} = 0 \\ \sum_{j=1}^n \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{j=1}^n \lambda_{rj} \cdot y_{rj} = 1 \quad \sum_{j=1}^n \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{j=1}^n \lambda_{rj} \cdot y_{rj} = 1$$

The elements of the "max-slack" solution for the input-oriented CRR model are defined as $\theta^*, \lambda^*, s^-, s^+$. If the "max-slack" solution is $s^- = 0$ and $s^+ = 0$, it is called a "zero-slack" solution. In this case, $\theta^* = 1$.

and since there is no surplus in input quantity or shortage in output quantity, the decision-making units are efficient. Therefore, if $\theta^* < 1$ and s^- or s^+ slack is not equal to zero, the decision-making units are inefficient. It is necessary for θ^* and the slacks to be equal to zero for the efficiency of decision-making units. Solutions and transformations performed for the input-oriented CRR model can also be applied to the output-oriented CRR model (Cooper et al., 2001).

2.3. Banker, Charnes, and Cooper Model

The assumption of constant returns to scale (CRS) is considered realistic only when all decision-making units operate at the optimal scale. However, imperfect competition conditions, financial constraints, government intervention, and similar situations may prevent decision-making units from operating at the optimal scale. In contrast to this, Banker, Charnes, and Cooper propose an extended version of the CRS model based on the assumption of Variable Returns to Scale (VRS). The linear solution of the VRS model, obtained by adding the convexity constraint to the linear solution of the CRS linear programming model, is shown below.

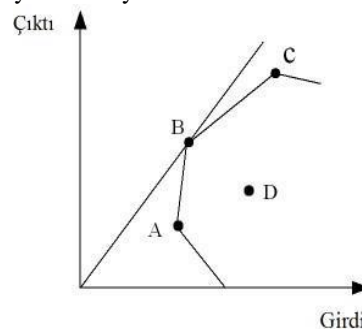
Objective function:
 Maximize θ

Constraints:
 $\theta \cdot \sum_{i=1}^m r_i = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot r_{ij}$
 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$
 $\lambda_j \geq 0$

Similar to the CRS model, the solution of the VRS model also occurs in two stages. In the first stage, θ is minimized. In the second stage, input surpluses and output shortages are maximized to satisfy the optimal decision value equality. Considering the variable returns to scale, the VRS model provides efficiency scores as technical efficiency and scale efficiency, unlike the CRS model. This model, which divides the efficiency of decision-making units into scale efficiency and technical efficiency, defines whether the inefficiency of inefficient decision-making units arises from scale inefficiency or operational inefficiency (T. Coelli, 1996). Additionally, by adding this constraint to the model, the types of returns to scale for decision-making units can be determined. Accordingly, if the sum of the calculated λ for the j th decision-making unit is greater than one, the decision-making unit represents decreasing returns to scale; if it is less than one, increasing returns to scale; and if it is equal to zero, constant returns to scale are represented.

Another difference between the CRS and VRS models is that in the VRS model, the decision-making unit k 's objective function includes the free slack variable v , which represents the weights related to output. With this free slack variable and constraints, the model transforms from a linear structure to a convex structure (Figure 2).

Figure 2: Efficiency boundary for VRS and CRS models (Coelli, 1996)



In Figure 2, the efficiency boundary for CRS and VRS models is examined with decision-making units A, B, C, and D. For the CRS model, the efficiency boundary is a straight line connecting the origin to point B, while for the VRS model, it is a piecewise convex structure containing points A, B, and C. Due to this convex structure, the VRS model exhibits the property of variable returns to scale. Therefore, in the figure, the AB line segment represents increasing returns to scale, point B represents constant returns to scale, and the BC line segment represents decreasing returns to scale. Additionally, compared to the CRS model where only point B is efficient, in the VRS model, points A, B, and C are efficient. The VRS model can also be examined both input-oriented and

output-oriented (Algin, 2014).

2.4. Input-oriented BCC model

The mathematical representation of the input-oriented primal and dual forms of the model developed by Banker, Charnes, and Cooper under the assumption of variable returns to scale is shown below.

Primal form of the input-oriented BCC model:

Maximize θ

Subject to:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj} \leq \theta \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s s_{uki} \cdot x_{ij} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s v_{kr} \cdot y_{rj} \leq \theta \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^s s_{uki} \cdot x_{ij}$$

$$v_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0, s_{kr} \geq 0, u_{ki} \geq 0$$

$$\theta \leq 1, \theta \geq 0$$

Dual form of the input-oriented BCC model:

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \quad \text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mu_{ij} - \sum_{r=1}^s \sum_{j=1}^n \lambda_{rj}$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} = 0 \quad \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} = 0$$

$$\sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} = 1 \quad \sum_{r=1}^s \lambda_{rj} \cdot y_{rj} - \sum_{i=1}^m \mu_{ij} \cdot x_{ij} = 1$$

$$\mu_{ij} \geq 0, \lambda_{rj} \geq 0$$

For decision-making units to be relatively technically efficient, the value of the objective function in the primal model should be θ , and in the dual model, it should be $1/\theta$. For inefficiency cases, in the primal model, $\theta < 1$, and in the dual model, $\theta > 1$ (Behdioğlu & Özcan, 2009).

3. Conclusion

DEA is an important tool used to evaluate the efficiency of decision-making units. The Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) model measures the overall efficiency of decision-making units based on the assumption of constant returns to scale. This model provides insights by identifying inefficient resources. On the other hand, the model developed by Banker, Charnes, and Cooper (BCC) based on the assumption of variable returns to scale has added a new dimension to data envelopment analysis. The BCC model offers a more flexible approach in evaluating the efficiency of decision-making units. Through its primal and dual forms, the input-oriented BCC model provides information regarding the optimal use of inputs by decision-making units. These models are essential tools for analyzing and improving the efficiency of decision-making units. Maximizing the objective function in the primal form or minimizing it in the dual form helps enhance the technical efficiency of decision-making units. Additionally, the solutions obtained from these models can determine the returns to scale, thus providing a better understanding of the activity levels of decision-making units. In conclusion, data envelopment analysis models can assist businesses in utilizing their resources more effectively and improving their performance. These models can be used to identify the strengths and weaknesses of decision-making units and contribute to the strategic decision-making processes of businesses.

Resources

1. Algin, D. O. (2014). Veri Zarflama Analizi ile Görel Etkinliklerin Karşılaştırılması: Türkiye'deki İllerin Kültürel Göstergelerine İlişkin Bir Uygulama. *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(2).
2. Banker, R.D., Conrad, R.F. & Strauss, R.P. (1986). A comparative application of data envelopment analysis and translog methods: An illustrative study of hospital production. *Management Science*, 32(1), 30-44.
3. Behdioğlu, S. & Özcan, A. G. G. (2009). Veri zarflama analizi ve bankacılık sektöründe bir uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(3).

4. **Bowlin, W. F. (2000).** An analysis of the financial performance of defense business segments using data envelopment analysis. *Journal of Accounting and Public Policy*, 18(4), 287-310.
5. **Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. (1978).** Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
6. **Coelli, T. (1996).** Centre for efficiency and productivity analysis (CEPA) working papers. *Department of Econometrics University of New England Armidale, Australia*.
7. **Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J. & Battese, G. E. (2005).** *An introduction to efficiency and productivity analysis*: Springer Science & Business Media.
8. **Cooper, W. W., Li, S., Seiford, L. M., Tone, K., Thrall, R. M. & Zhu, J. (2001).** Sensitivity and stability analysis in DEA: some recent developments. *Journal of Productivity Analysis*, 15(3), 217-246.
9. **Cooper, W. W., Seiford, L. M. & Tone, K. (2006).** *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*: Springer Science & Business Media.
10. **Cooper, W. W., Seiford, L. M. & Tone, K. (2007).** *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8>
11. **Cvetkoska, V. (2011).** *Data Envelopment Analysis Approach and Its Application in Information and Communication Technologies*. Paper presented at the HAICTA.
12. **Doumpos, M. & Cohen, S. (2014).** Applying data envelopment analysis on accounting data to assess and optimize the efficiency of Greek local governments. *Omega*, 46, 74-85.
13. **Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. & Shale, E. A. (2001).** Pitfalls and protocols in DEA. *European journal of operational research*, 132(2), 245-259.
14. **Hollingsworth, B., Dawson, P.J. & Maniadakis, N. (1999).** Efficiency measurement of health care: A review of non-parametric methods and applications. *Health Care Management Science*, 2(3), 161-172.
15. **Hollingsworth, B. (2003).** Performance measurement and performance management in public health: A review. *Health Services Research*, 38(1), 275-287. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.00125>
16. **Karahan, A. & Özgür, E. (2011).** *Hastanelerde performans yönetim sistemi ve veri zarflama analizi*: Nobel Yayın Dağıtım.
17. **Kutlar, A. & Babacan, A. (2008).** Türkiye'deki kamu üniversitelerinde CCR etkinliği-ölçek etkinliği analizi: DEA tekniği uygulaması.
18. **Ozcan, Y.A. & Luke, R.D. (1993).** A national study of the efficiency of hospitals in urban markets. *Health Services Research*, 27(6), 785-803.
19. **Ramanathan, R. (2003).** *An introduction to data envelopment analysis: a tool for performance measurement*: Sage.
20. **Sherman, H.D. (1984).** Hospital efficiency measurement and evaluation: Empirical test of a new technique. *Medical Care*, 22(10), 922-938.
21. **Yeşilyurt, C. (2009).** Türkiye'deki İktisat Bölümlerinin Göreceli Performanslarının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Ölçülmesi: KPSS 2007 VERİLERİNE DAYALI BİR UYGULAMA. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4).
22. **Yolalan, R. (1993).** İşletmelerde Göreceli Etkinlik Ölçümü. *MPM Yayınları*, Yayın (483).

SOME PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF TRADITIONAL HELETE CHEESE

Emine Ezgi Küpelikilinç^{1*}, Özlem Turgay²

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Institute of Science and Technology, Department of Food Engineering, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Food Engineering, Kahramanmaraş

Abstract

Helete cheese is a type of cheese produced by boiling the curd and is called finger cheese and squeeze cheese in the Southeastern Anatolia Region. Helete cheese is produced from full-fat raw goat's milk and is usually consumed after ripening. In this study, cheese samples were obtained from 12 different cheese producers traditionally produced in the Helete, Kahramanmaraş in August and September. Some chemical and microbiological properties and mineral content of Helete cheese were investigated. Dry matter, fat, protein, ash, pH, acidity, total mesophilic-aerobic bacteria, total mold, yeast, *Staphylococcus aureus*, total coliform and *Escherichia coli* and calcium, magnesium, zinc, phosphorus and potassium content were investigated in cheese samples. At the end of the research, it was determined that Helete cheese was in accordance with the standards specified in the Turkish Food Codex and Helete cheese was classified as semi-hard and full fat cheese.

Key Words: Helete cheese, traditional food, microbiological properties

1. Introduction

Cheese has always been a sought-after food and emerged with two simultaneous developments. The first is that during the Neolithic period, as people practiced intensive agriculture, the soil became infertile and sheep and goats were more engaged in farming and milk production increased. The second was the discovery of pottery and people started to store milk (Kindstedt, 2012). In addition, during this period, the milk that was not consumed was stored in tulum made from freshly slaughtered sheep tripe and the story of cheese began with the milk slaughtered here (Kamber, 2006). Cheese has gained an important place in the history and economy of humanity with its durable and rich nutritional content and has enabled the spread of civilization to the west. After Asia and Europe, it started to be made in the British Isles and America (Tekinşen and Tekinşen, 2005).

In our country, cheese production has not been fully mechanized except for large enterprises. For this reason, people's personal experience and skills are at the forefront and the chemical compositions of our cheeses vary in a very wide range. The reasons for this are the lack of certain standardization in production and the lack of widespread use of pasteurized milk and starter culture (Hayaloğlu, 2008). It has been determined that 15% of the total milk produced is used in modern enterprises, 40% in dairy farms and the remaining amount is used in the production of different dairy products in family enterprises, hygienic conditions are not taken into consideration in the production of local cheese, traditional methods are used and therefore a standard product could not be obtained (Tekinşen and Tekinşen, 2005).

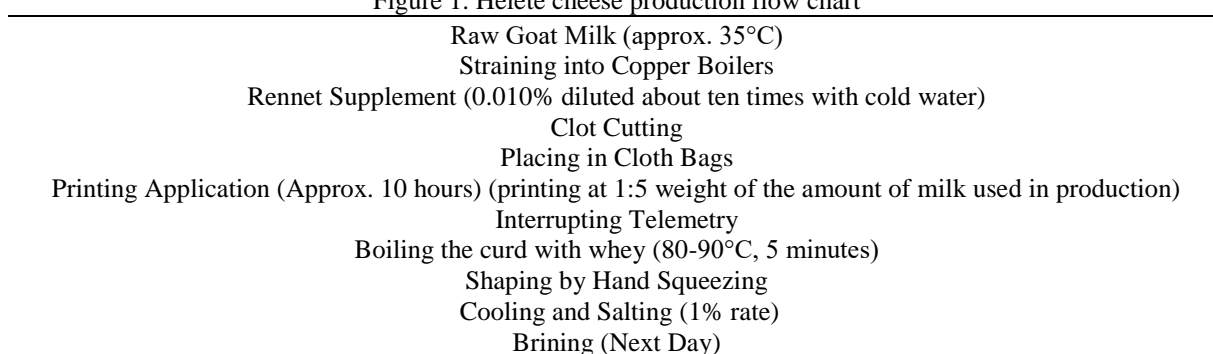
More than 200 different types of cheese are produced in different regions of Turkey and this number can increase even more with the addition of local production culture (Demirgöl and Sağdıç, 2018). Maraş (Sıkma) cheese and similar local cheeses are traditionally produced in some provinces in the Eastern Mediterranean and Southeastern Anatolia. The production steps and chemical composition of this cheese, called Parmak (Sıkma) cheese produced in Kahramanmaraş, are similar to some other cheeses. These include Nabulsi and braided-weave in Arab countries, Kasserli and kalkaval in Balkan countries, halloumi in Cyprus, some Italian cheeses and Armavir cheese produced in the Western Caucasus. It is similar to hand cheese, which is made from low-fat / low-fat milk, usually with churning, and is known under different names in different countries (Tekinşen, 2000). In addition, Antep cheese is similar to local cheeses such as Adıyaman, Hatay, Malatya and Mersin boiled cheese, Urfa cheese and Diyarbakır braided cheese, especially in terms of the boiling stage of the curd and production technique (Tekinşen, 2001; Ardiç, 2003).

These cheeses which are traditionally produced in our country by boiling the curd in water and are also reported as melting (boiled) cheese by some researchers. It is thought that the consumption of these cheeses produced especially in Eastern Mediterranean and Southeastern Anatolia has a high rate (Tekinşen, 2000). Sheep and goat milk is generally used in the production of Maraş cheese and it is generally consumed after ripening. Maraş (squeezing) cheese has a distinctive and salty taste and is homogeneous, elastic, firm, does not crumble when cut and has a good white color (Tekinşen and Tekinşen, 2005).

Helete cheese is a type of cheese produced by boiling the curd and is called finger cheese and squeeze cheese in the Southeastern Anatolia Region. Helete cheese is produced from full-fat raw goat's milk and is usually consumed after ripening. It is made in March-September. Helete is a town surrounded by mountains and high plateaus and people here are generally engaged in animal husbandry. Most of them are goat breeders and Helete cheese is made with the milk produced.

In this study, some chemical, microbiological properties and mineral content of Helete cheese were investigated. The production flow chart of Helete cheese is shown in Figure 1 (Hoplamaz, 2019).

Figure 1. Helete cheese production flow chart



2. Materials and Methods

2.1. Material

Cheese samples were obtained from 12 different cheese producers traditionally produced in the Helete, Kahramanmaraş in August and September. The samples were randomly selected from different batches, packaged and labeled to represent the whole batch and brought to the laboratory in insulated containers and kept at refrigerator temperature (+4°C) until analysis.

2.2. Method

The analyses of the study were carried out at Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering-Architecture-Food Engineering laboratories. Dry matter (Anonymous, 2006), fat (TS EN ISO 5534, Anonymous, 2015b), protein (Anonymous, 2014a), acidity (Anonymous, 2013), pH (Anonymous, 2013), ash (Anonymous, 2006), and Total Aerobic Mesophilic Bacteria (TAMB) count (Anonymous, 2014b), total yeast and mold (Anonymous, 2014c), total coliform and *E. coli* (Anonymous, 2010, Anonymous 2015c), *S. aureus* (Anonymous, 2023). Mineral matter analyses were determined by ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optic Emission Spectroscopy) in the laboratories of the University-Industry-Public Cooperation Development Center (ÜSKİM) using the method specified in (NMKL 186) and the results were given in mg/kg (Anonymous, 2007).

2.3. Statistical Analysis

Analyses were carried out at least three parallel and IBM SPSS Statistic 23 package program was used for statistical evaluation of the data. The data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) and significant differences were determined by Duncan multiple comparisons.

3. Results and Discussion

3.1. Chemical Analysis Results

The results of chemical analysis of Helete cheeses are given in Table 1.

There was a significant difference between the average dry matter content of the samples ($p < 0.05$). The findings obtained were higher than the values stated by Yalçın et al. (2007), Yener (2012), Kıvıncı (2018), Ceylan et al. (2019).

Table 1. Chemical analysis results of Helete cheeses

Sample	Dry matter %	Fat %	Protein %	Ash %	pH	Acidity %
1	63.94±3.39 ^{bc}	32.50±1.06 ^{abc}	24.33±1.17 ^c	13.73±1.17 ^b	5.92±0.57 ^a	0.44±0.06 ^a
2	64.60±2.40 ^{bc}	39.02±0.74 ^d	23.86±1.36 ^{bc}	9.03±0.04 ^a	5.38±0.42 ^a	0.49±0.10 ^{ab}
3	55.15±3.18 ^{ab}	32.70±1.70 ^{abc}	21.58±0.85 ^{abc}	10.66±0.48 ^{ab}	5.50±0.42 ^a	0.46±0.04 ^a
4	67.50±1.41 ^c	35.10±1.27 ^{cd}	28.80±0.71 ^d	12.13±0.47 ^{ab}	5.72±0.59 ^a	0.54±0.06 ^{ab}
5	56.30±1.41 ^{ab}	35.15±0.57 ^{cd}	20.02±1.03 ^a	11.93±1.46 ^{ab}	5.85±0.21 ^a	0.60±0.03 ^{ab}
6	58.37±2.35 ^{ab}	33.60±1.56 ^{abc}	23.10±0.42 ^{abc}	11.66±0.93 ^{ab}	5.39±0.34 ^a	0.48±0.06 ^{ab}
7	57.95±4.10 ^{abc}	34.50±0.71 ^{bc}	20.54±0.69 ^{abc}	10.28±0.40 ^{ab}	5.14±0.08 ^a	0.52±0.03 ^{ab}
8	52.20±1.84 ^a	30.25±0.71 ^a	20.81±1.12 ^{abc}	11.63±0.82 ^{ab}	5.87±0.10 ^a	0.56±0.06 ^{ab}
9	51.90±2.69 ^a	30.75±1.06 ^{ab}	20.54±0.79 ^{abc}	10.60±0.85 ^{ab}	6.08±0.11 ^a	0.58±0.07 ^{ab}
10	54.30±2.83 ^{ab}	31.50±0.71 ^{abc}	20.67±0.91 ^{abc}	12.60±0.85 ^{ab}	6.00±0.14 ^a	1.08±0.11 ^c
11	56.20±2.83 ^{ab}	32.04±0.41 ^{abc}	22.90±1.41 ^{abc}	11.40±0.57 ^{ab}	5.78±0.99 ^a	0.72±0.03 ^{ab}
12	58.10±1.47 ^{abc}	32.00±0.35 ^{abc}	20.39±0.55 ^{ab}	11.90±1.98 ^{ab}	5.70±0.28 ^a	0.60±0.03 ^{ab}

A significant difference was found between the average % fat ratios of the samples ($p < 0.05$). Our findings were higher than the values reported in the studies of Tekinşen (2005), Yalçın et al. (2007), Yener (2012) and Kıvıncı (2018). This difference is thought to be due to the season in which the milk is obtained and economic concerns. When the Turkish Food Codex Communiqué on Cheese was evaluated according to the milk fat content of the cheeses (45% or more fat content in dry matter), Helete cheese samples were found to comply with the definition of full fat cheeses (Anonymous, 2015a).

There was a significant difference between the average moisture content of the samples ($p < 0.05$). When evaluated in terms of the maximum moisture value (45%) to be included in the Turkish Food Codex Communiqué on Cheese, 17% of the samples did not overlap (Anonymous, 2015a). Our findings were lower than those of Tekinşen (2005) and Sagun et al. (2001). The changes observed may be due to variability in cheese types, differences in processing techniques, ripening and storage conditions, sampling errors, environmental factors (environmental conditions during cheese production, humidity, temperature).

A significant difference was observed between the average protein content of the samples ($p < 0.05$). The findings obtained were lower than the findings of Kıvıncı (2018) and Yener (2012). It was found to be higher than the values stated in the study of Atasoy et al. (2003). Öner and Sarıdağ (2019) reported that the amount of protein in cheeses produced from goat milk varied between 7.95% and 16.3%. This suggests that these differences are due to the quality of the milk used.

There was a significant difference between the average ash content of the samples ($p < 0.05$). Our findings were higher than the values reported by Yalçın et al. (2007), Yener (2012), Kıvıncı (2018) and Aydın and Ardıç (2019). This difference may be due to the quality of the milk, the season in which the milk is obtained, the equipment used and economic concerns.

As a result of the analyses, no statistically significant difference was found between the average pH values of the samples ($p > 0.05$). This finding indicates that the ripening process of the samples has not yet been completed. The results of the study were found to be compatible with the values reported in the studies of Yener (2012), Kıvıncı (2018) and Aydın and Ardıç (2019). The pH value of Adıyaman cheese was determined as 6.57 ± 0.44 (Ceylan et al., 2019). This value, which was higher than our study, is thought to be due to the difference in production.

A significant difference was found between the average acidity value of the samples ($p < 0.05$). Our findings are above the findings of Aydın and Ardiç (2019) and similar to the findings of Yener (2012) and Kılıncı (2018). The acidity in cheeses increases the titration acidity with lactic, acetic, formic and butyric acid formed by the fermentation of lactose by microorganisms (Öner and Sarıdağ, 2019).

3.2. Microbiological Analysis Results

The results of microbiological analysis of Helete cheeses are given in Table 2.

Table 2. Microbiology analysis results (log cfu/g)

Sample	Total mesophilic aerobic bacteria	Total yeast and mold	<i>S. aureus</i>
1	6.51±0.22 ^d	3.69±0.16 ^b	3.46±0.37 ^{bc}
2	6.36±0.24 ^d	2.60±0.26 ^a	4.69±0.38 ^{ef}
3	4.60±0.26 ^a	3.60±0.44 ^b	3.11±0.12 ^b
4	5.30±0.10 ^b	4.47±0.10 ^c	3.69±0.25 ^{bcd}
5	5.07±0.08 ^b	4.84±0.07 ^{cd}	4.60±0.22 ^{ef}
6	6.36±0.14 ^d	4.47±0.09 ^c	3.11±0.12 ^b
7	5.84±0.09 ^c	5.00±0.10 ^d	3.23±0.12 ^b
8	6.38±0.10 ^d	4.84±0.05 ^{cd}	4.23±0.07 ^{de}
9	6.39±0.09 ^d	4.60±0.13 ^{cd}	5.20±0.26 ^f
10	6.38±0.07 ^d	4.90±0.10 ^{cd}	4.11±0.12 ^{cde}
11	6.30±0.05 ^d	4.84±0.09 ^{cd}	2.00±0.10 ^a
12	6.41±0.06 ^d	4.90±0.10 ^{cd}	4.95±0.40 ^f

A significant difference was found between the total number of mesophilic aerobic bacteria ($p < 0.05$). The results obtained were found to be lower than the total number of aerobic mesophilic bacteria reported in the studies of Tekinşen (2005), Kamber (2005) and Aydın and Ardiç (2019). The total number of viable aerobic mesophilic bacteria is an indicator of the shelf life and hygiene quality of foods.

A significant difference was observed between total yeast and mold counts ($p < 0.05$). Our findings were lower than the total yeast and mold counts reported by Tekinşen (2005), Kamber (2005) and Aydın and Ardiç (2019). The number of yeasts and molds is derived from the Turkish Food Codex Regulation on Microbiological Criteria (2011) and there is no legal limit. Since it is a sign of potential spoilage, it is important for the evaluation of microbial quality.

There was a significant difference between the *S. aureus* counts of the samples ($p < 0.05$). Coagulase (+) *S. aureus* was observed in 8.3% of the samples. Tekinşen (2005) found a wide range of *S. aureus* counts in cheeses and Kamber (2005) found staphylococci in 20% of the samples. The number of *S. aureus* obtained in this study is similar to the values reported in other studies. Since it is known that the transmission of this bacterium to foods is mostly caused by personnel, it is estimated that hand contact occurs during the squeezing of cheeses.

Coliform bacteria and *E. coli* were not isolated from Helete cheeses. Tekinşen (2005) detected coliform bacteria in 16% of squeezed cheese samples, while *E. coli* was not detected. Kamber (2005) detected 4.35 log cfu/g of coliform bacteria in 20% of Çeçil cheeses, Kaynar et al. (2005) reported that fecal coliform bacteria and *E. coli* were not detected in 18 samples of 30 white cheeses.

3.3. Mineral Matter Analysis

There was a significant difference between the calcium amounts of cheese samples ($p < 0.05$). It was observed that our findings were higher than the calcium content in the studies of Özlü et al. (2012) and Öksüztepe (2013).

A significant difference was observed between magnesium amounts ($p < 0.05$). Our findings were lower than the magnesium levels in the studies of Özlü et al. (2012) and Öksüztepe (2013). The difference in these values is thought to be due to factors such as lactation stage, environmental conditions and feeding.

There was a significant difference between the zinc amounts of cheese samples ($p<0.05$). The findings obtained in this study were higher than the zinc levels reported by Özlü et al. (2012) and Öksüztepe (2013). There was a significant difference between the phosphorus amounts ($p<0.05$). It was found to be higher than the findings of Özlü et al. (2012) and Öksüztepe (2013). This difference is thought to vary depending on the processes applied during cheese production.

There was a significant difference between the potassium content of cheese samples ($p<0.05$). It was observed that our findings were similar to those of Özlü et al. (2012) and Öksüztepe (2013).

4. Conclusion and Recommendations

The chemical analysis findings of this study with Helete cheese samples showed diversity. This may be due to the non-standardization of raw materials and production procedures.

Our traditional cheeses are limited to the regions where they are produced in our country and are about to be forgotten. In this respect, it is very important to examine and register the general characteristics of our cheeses processed with traditional methods. It is important to transfer these types of cheeses to the industry without losing their natural qualities. It is extremely important to obtain better quality milk in terms of chemical and microbiological aspects and to supply products of the same quality and standardization with biochemical parameters. In this way, the region will be developed and traditional products will not be forgotten and recognized.

Acknowledgements

This study was supported by KSU BAP project number 2018/1-15 YLS.

References

1. **Anonymous. (2023).** Gıda zincirinin mikrobiyolojisi-Koagülaz pozitif stafilkokların (*Staphylococcus aureus* ve diğer türler) sayımı için yatay yöntem-Bölüm 1: Baird Parker agar besiyeri kullanılan yöntem, TS EN ISO 6888-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
2. **Anonymous. (2015a).** Türk Gıda Kodeksi Peynir Tebliği (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/02/20150208-16.htm>)(Erişim tarihi:03.02.2024).
3. **Anonymous. (2015b).** Peynir, yağ muhtevası tayini Van Gulik yöntemi, TS ISO 3433, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
4. **Anonymous. (2015c).** Gıda zinciri mikrobiyolojisi beta glucuronidase pozitif *E. coli*'nin sayımı için yatay yöntem, TS EN ISO 16649-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
5. **Anonymous. (2014a).** Süt ve süt ürünleri azot içeriği tayini, Kjeldahl prensibi ve ham protein hesaplanması, TS EN ISO 8968-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
6. **Anonymous. (2014b).** Gıda zinciri mikrobiyolojisi, mikroorganizmaların sayımı için yatay yöntem, dökme plak tekniğiyle 30°C'ta koloni sayımı, TS EN ISO 4833-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
7. **Anonymous. (2014c).** Gıda ve hayvan yemleri mikrobiyolojisi, maya ve küflerin sayımı için yatay yöntem, TS ISO 21527-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
8. **Anonymous. (2013).** Beyaz Peynir, TS 591, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
9. **Anonymous. (2011).** Türk Gıda Kodeksi Mikrobiyolojik Kriterler Yönetmeliği. (<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111229M3-6.htm>)(Erişim tarihi:09.02.2024).
10. **Anonymous. (2010).** Gıda ve hayvan yemleri mikrobiyolojisi: koliformların tespiti ve sayımı için yatay yöntem- En muhtemel sayı tekniği, TS ISO 4831, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. **Anonymous. (2007).** Trace elements As, Cd, Hg, Pb and other elements. Determination by ICP-MS after pressure digestion. Validation of chemical analytical methods, Nordic Baltic Committee on Food Analysis 186.
12. **Anonymous. (2006).** Peynir ve işlenmiş peynir, toplam kuru madde içeriği tayini (Referans yöntem), TS EN ISO 5534, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
13. **Ardıç, M. (2003).** Pastörizasyon ve farklı haşlama sıcaklıklarının Urfa peynirinin kalitesine etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Sağlık Bilimleri Inst., Konya.
14. **Atasoy F.A, Türkoğlu H. & Özer B.H. (2003).** Şanlıurfa ilinde üretilen ve satışı sunulan süt, yoğurt ve Urfa

- peynirlerinin bazı mikrobiyolojik özellikleri. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 7:77-83.
15. Aydın, F. & Ardıç, M. (2019). Farklı illerden toplanan sıkma peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri. *Gıda Dergisi* 44 (5): 826-836.
16. Ceylan, H. G., Demir, T. & Kurt, Ş. (2019). Geleneksel olarak üretilen Adıyaman peynirinin bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin belirlenmesi. *ADYÜTAYAM*, 7 (1): 1-13.
17. Demirgöl, F. & Sağıdıç, O. (2018). Fermente Süt Ürünlerinin İnsan Sağlığına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (13), 45-53.
18. Hayaloğlu, A.A. *Türkiye'nin peynirleri, genel bir perspektif*. Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs, 2008; 729-732, Erzurum.
19. Hoplamaz, M. (2019). Sözlü Röportaj. Helete'de keçi yetiştiriciliği yapan ve peynir üreticisi olan bir çiftçi.
20. Kamber, U. (2005). Kars'ta satışı sunulan kaşar ve çeçil peynirlerinin bazı mikrobiyolojik ve kimyasal kalite nitelikleri. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi* 11:1, 33-38.
21. Kamber, U. (2006). Peynirin tarihçesi. *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi* 77:2, 40-44.
22. Kaynar, Z., Kaynar, P. & Koçak, C. (2005). Ankara piyasasında tüketime sunulan beyaz peynirlerin hijyenik kalitelerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* 62: 1, 1-10.
23. Kıvıncı, B. (2018). *Hayvansal ve mikrobiyel rennet kullanılarak elde edilen sıkma peynirlerinin kimi özelliklerinin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 70s.
24. Kindstedt, P. (2012). *Cheese and Culture*. Chelsea Green Publishing. White River Junction, Vermont, 230 s.
25. Öksüztepe, G., Karatepe, P., Özçelik, M. & İncili, G.K. (2013). Tulum peyniri ve taze beyaz peynirlerin mineral madde ve ağır metal içerikleri, *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi* 27:2, 93-97.
26. Öner, Z. & Sarıdağ, A. M. (2019). Keçi sütünden üretilmiş beyaz peynirlerde olgunlaşma süresince meydana gelen değişimler. *Gıda*, 44(3), 523-533.
27. Özlü, H., Atasever, M.A., Urçar, S. & Atasever, M. (2012). Erzurum'da tüketime sunulan kaşar peynirlerinin mineral madde içeriği ve ağır metal kontaminasyonu, *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 18:2, 205-208.
28. Tekinşen, K. (2000). *Maraş peyniri ve benzer peynirler*. <http://www.kentmaras.com>.
29. Tekinşen, O.C. & Tekinşen, K. (2005). *Süt ve Süt Ürünleri*. Temel Bilgiler Teknoloji Kalite Kontrolü. Selçuk Üniversitesi Basımevi. Konya. 349s.
30. Tekinşen, K.K. (2005). Kahramanmaraş ve çevresinde üretilen Maraş peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi, *Veteriner Bilimleri Dergisi* 21:3-1, 57-63.
31. Yalçın S., Ardıç, M. & Nizamlıoğlu, M. (2007). Urfa Peynirinin Bazı Kalite Nitelikleri, *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri*, 2 (3) 90-95.
32. Yener, A. (2012). *Kahramanmaraş piyasasında keçi ve inek sütlerinden yapılarak satışı sunulan sıkma peynirlerinin bazı özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 79 s.

OLEİK ASİTTEN BİYODİZEL ÜRETİMİNİN KESİKLİ REAKTÖR VE MEMBRAN REAKTÖRDE KARŞILAŞTIRILMASI

Erden Hanife^{1*}, Uğur Nigiz Filiz¹, Kahraman Seniyeçan¹

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

Öz

Son yıllarda biyodizel, fosil yakıtlara sürdürülebilir bir alternatif olarak daha fazla ilgi görmektedir. Biyodizel, petrol dizel yakıtına kıyasla daha düşük egzoz emisyonlarına ve toksisiteye sahiptir. Bu çalışmada oleik asit ve etanol arasında esterleşme reaksiyonu ile biyodizel üretimi kesikli reaktör ve membran reaktörde gerçekleştirilmiştir. Kesikli reaktörde ve membrane reaktördeki dönüşümler karşılaştırılmıştır. Membran reaktörlerin geleneksel reaktörlere göre avantajı gösterilmiştir. Katalizör olarak homojen katalizör olan sülfürik asit kullanılmıştır. Membran reaktörde kullanılmak üzere hidrofilik olan PVA membranı sentezlenmiştir. Katalizör konsantrasyonunun (ağırlıkça %2, %4, %6), etanol/oleik asit molar oranının (3, 6, 9) ve sıcaklığın (45°C, 55°C, 65°C arası) oleik asit dönüşümüne etkisi kesikli reaktörde incelenmiştir. Optimizasyon ile belirlenen noktada aynı reaksiyon membran reaktörde de gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonlar dört saat sürdürülmüştür. Hem parametrik hem de optimizasyon sonuçlarına göre kütlice katalizör konsantrasyonunun dönüşüme etkisinin düşük olduğu, sıcaklık ve molar besleme oranının ise asit dönüşümüne etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Kesikli reaktörde En yüksek dönüşüm değeri % 85,5 ile 65 °C sıcaklıkta, alkol: asit molar besleme oranı 6:1 iken, %4 katalizör konsantrasyonu ile elde edilmiştir. Etanol/oleik asit molar oranı 3, sıcaklık 55 °C ve katalizör oranı ağırlıkça %4 olduğunda kesikli reaktörde %50 oranında dönüşüm elde edilirken, membran reaktörde %75 oranında elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak aynı çalışma koşullarında, membran reaktörde elde edilen asit dönüşüm sonuçları kesikli reaktörlerden %26 oranında arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Oleik asit, esterleşme, kesikli reaktör, membran reaktör, biyodizel

COMPARISON OF BIODIESEL PRODUCTION FROM OLEIC ACID IN BATCH REACTOR AND MEMBRANE REACTOR

Extended Abstract

In recent years, biodiesel has gained more attention as a sustainable alternative to fossil fuels. Compared to petroleum diesel, biodiesel has lower exhaust emissions and toxicity. In this study, the esterification reaction between oleic acid and ethanol was carried out in the presence of sulfuric acid, which is a homogeneous acid catalyst, to produce biodiesel. Experiments were carried out in both a batch reactor and a membrane reactor. The conversions in the batch reactor and the membrane reactor were compared. The advantages of membrane reactors over traditional reactors were demonstrated. A hydrophilic PVA membrane was synthesized to use in the membrane reactor. A parametric study has been done in a batch reactor. The effect of catalyst concentration (2%, 4%, 6% by weight), ethanol/oleic acid molar ratio (3:1, 6:1, 9:1), and temperature (ranging from 45°C to 65°C) on the conversion of oleic acid was investigated in a batch reactor. The study explored how varying these parameters influenced the efficiency of the esterification reaction. Following the optimization process, the reaction was also carried out under the same conditions in a membrane reactor to compare the results. This approach allowed for a detailed analysis of how each variable impacted oleic acid conversion, enabling an optimal set of reaction parameters to be determined for both reactor types. The reactions were conducted for four hours. According to both parametric and optimization results, it was observed that the effect of catalyst concentration (by weight) on the conversion was low, while temperature and molar feed ratio had a significant effect on acid conversion. In the batch reactor, the highest conversion of 85.5% was obtained at 65°C, with an alcohol-to-acid molar feed ratio of 6:1 and a catalyst concentration of 4%. When the ethanol/oleic acid molar ratio was 3, the temperature was 55°C, and the catalyst concentration was 4% by weight, a 50% conversion was achieved in the batch reactor, while a 75% conversion was achieved in the membrane reactor. Based on these results, it was observed that the acid

conversion results obtained in the membrane reactor under the same operating conditions were 26% higher than those obtained in the batch reactors.

Key Words: Oleic acid, esterification, batch reactor, membrane reactor, biodiesel

1. Giriş

Günümüzde fosil yakıtlar dünyanın önde gelen enerji kaynağıdır. Fosil yakıtların fazla tüketimi, sera gazı emisyonları nedeniyle küresel ısınmaya yol açmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarının gelecekte tükeneceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir kaynakların kullanımına daha fazla dikkat edilmiştir (Hosseini, 2015). Yenilenebilir enerjilerin 2040 yılına kadar küresel enerjinin yarısını sağlaması ve sera gazlarının %70'inin azalması beklenmektedir. Yenilenebilir yakıtlar arasında biyodizel önemli bir konuma sahiptir. Biyodizel bitkisel yağlar, hayvansal yağlar ve alg lipitleri gibi yaygın biyolojik kaynaklardan üretilebilmesinin yanı sıra toksik değildir ve biyolojik olarak parçalanabilir. Yüksek parlama noktasına, iyi yağlayıcı özelliklere ve yanma sırasında önem arz etmektedir. Üretimde kullanılan hammadde, alkol, katalizör ve oranı, asit/alkol oranı ve reaktör özenle seçilmelidir. Gerekliğinde deneysel parametreler kükürt, kanserojen bileşikler içermeyen düşük gaz emisyonuna sahiptir (Banković–Ilić vd., 2017).

Biyodizel, trigliseritlerin transesterifikasyonundan ya da serbest yağ asitlerinin (FFA) esterleşmesinden kaynaklanan metil ya da etil esterlerden oluşan yenilenebilir ve çevreyi kirletmeyen bir yakıttır. Son zamanlarda biyodizel büyük önem kazanmış ve yağ asitleri (FA) kaynağı olarak bitkisel yağ ve hayvansal yağların kullanımına yönelik araştırmalar yoğunlaşmıştır (Rafiee & Mirnezami, 2017). Uzun zincirli yağ asidi alkil esterlerinden (FAAE) oluşan biyodizel, fosil bazlı yakıtların kullanımını azaltmak için alternatif bir enerji kaynağıdır çünkü biyodizel, yanma özelliklerinin fosil dizelle benzerliği nedeniyle fosil yakıt için iyi bir alternatif enerji kaynağı olabilecek çevre dostu, biyolojik olarak parçalanabilir ve yenilenebilir enerjiden üstündür. Bu arada, çevrede kükürt oksitler (SOx), karbon oksitler (CO₂, CO) ve tehlikeli hidrokarbonlar gibi kirlilik son derece azaltılabilir. Ayrıca biyodizel, parlama noktası, setan sayısı ve kükürt içeriği bakımından normal petrol bazlı dizel yakıtlardan üstündür (Ma vd.,2015).

Petrol bazlı dizel ile karşılaştırıldığında biyodizel, düşük karbon monoksit (CO), partikül madde ve yanmamış hidrokarbon emisyonları gibi daha uygun yanma emisyon profiline sahiptir. Biyodizelin yanmasıyla üretilen karbondioksit fotosentez ile geri dönüştürülebilir, böylece biyodizelin yanmasının sera etkisi üzerindeki etkisi en aza indirilir. Biyodizel, petrol dizelinden daha az uçucudur ve nakliyesi daha güvenlidir. Biyodizelin bu özellikleri onu petrol bazlı yakıtlara iyi bir alternatif haline getirmiş ve birçok ülkede kullanılmasına yol açmıştır (Corro vd.,2011).

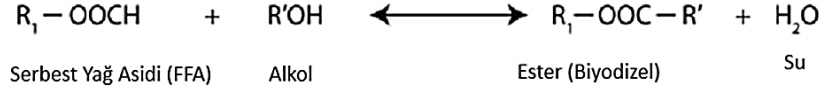
Biyodizel, yenilebilir ve yenilebilir olmayan ham maddelerin alkollerle bazik veya asidik bir katalizör varlığında esterleştirme ya da transesterleştirme işlemi yoluyla reaksiyona sokulmasıyla üretilebilir. Yenilebilir olmayan ham maddeler genellikle yüksek oranda yağ asitleri içerir ve bunlardan biyodizel elde etme işlemi, yağ asitlerinin esterleştirilmesi ve ardından trigliseritlerin transesterleştirilmesi olmak üzere iki adımdan oluşur. Üretimde yağ kullanıldığında biyodizelle birlikte yan ürün olarak gliserol çıkmaktadır. Reaksiyon yağ asidi temelli gerçekleştiğinde ise yan ürün olarak su oluşmaktadır. Atık yönetimi ve proses tasarımı açısından yağ asidi metil esteri ya da etil esterlerinin (biyodizel) üretilmesi daha avantajlıdır (Li vd.,2015).

Kimyasal katalizör eşliğinde gerçekleştirilen transesterifikasyon proseslerinde (Şekil 1) çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Oluşan yan ürünler, gliserol ve biyodizelin ayrıştırılması zordur, ilave saflaştırma aşamaları gerektirir (Fukuda vd.,2001).



Şekil 1. Trigliseritlerin alkollerle transesterifikasyonu

Serbest yağ asidi alkol ile esterleşmesi (Şekil 2), termodinamik denge tarafından kontrol edilen tipik bir reaksiyondur. Bir tepkenin fazla kullanılması, dengeyi değiştirir ve yüksek ester verimleri elde etmek için etkili olur. Serbest yağ asitleri alkol ile tepkimeye girerek esteri yani biyodizeli oluştururlar. Yan ürün ise esterifikasyondan farklı olarak su açığa çıkmaktadır (Ali, 2009).



Şekil 2. Serbest yağ asitlerinin alkollerle esterifikasyonu

Hem esterleşme hem de transesterleşme reaksiyonları termodinamik olarak sınırlı ve tersinir reaksiyonlardır. Bu nedenle her reaksiyon için uygun koşulların sağlanması hem de verim ve seçiciliğin artırılması önemlidir (Banchero & Gozzelino, 2018).

Transesterifikasyon işleminde oluşan gliserolün ayrıştırılması zordur. Esterifikasyon işleminde ise yan ürün olarak su oluşur ve ayrıştırılması gliserole göre daha kolaydır. Literatürde esterifikasyon ile biyodizel üretimi yapılan birçok çalışma vardır.

Biyodizel üretirken dikkate alınması gereken parametrelerden biri de reaktör seçimidir. Üretimde kesikli reaktörler, sürekli karıştırılmalı tank reaktörler, piston akışlı/borusal reaktörler gibi geleneksel reaktörlerin yanı sıra membran reaktörler de kullanılabilir. Membran reaktörler geleneksel reaktörlere göre pek çok bakımdan daha avantajlıdır. Membran reaktörler reaksiyondaki reaktif maddenin veya ürünün seçici olarak konsantrasyonunu etkileyerek membranın ayırma işleminden yararlanan sistemdir. Başka bir şekilde ifade edilirse membran ve reaksiyon ortamının bir araya getirilmesiyle ayırmayla reaksiyonun bir arada ilerlediği sistemlerdir (Hasanoğlu, 2008). Avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Reaksiyon ürünlerini oluştukları anda uzaklaştırılmasıyla geleneksel reaktörlerde ulaşılamayan çok yüksek dönüşümlerin elde edilmesini sağlar.
- Tepkime ve ayırma aynı hücre içerisinde olduğundan ekstra bir ayırma prosesine gerek kalmaz.
- Ayırma işlemi için ek kimyasallar kullanılmaz (Nigiz vd., 2011).

Literatürde membran reaktörün geleneksel reaktörlere göre üstünlüklerini belirten birçok çalışma yapılmıştır. Canilla vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada kesikli reaktör ardına eklenen bir membran ayırma sistemi ile oleik asit esterleşme reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sırasında yan ürün olarak üretilen suyu uzaklaştırmak ve böylece oleik asit dönüşümünü ve alkil ester üretimini arttırmayı amaçlamışlardır. Ticari bir Amberlyst-15 katalizörü varlığında, 80°C'de ve düşük asit/alkol mol oranı (2/1 ve 1/1) ile oleik asit dönüşümü hem metanol hem de etanol sırasıyla %96 ve %98 elde edilmiştir.

Han vd. (2015) çalışmalarında sabit yataklı bir reaktörle entegre edilen NaA zeoliti kullanılan pervaporasyonu (PV) ile oleik asit ve etanolün esterleştirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Zeolit membranın suyu organik karışımdan uzaklaştırmak için iyi ayırma özelliğine sahip olduğunu göstermişlerdir. Çalışma koşulları, etanolün oleik asit molar oranı 15:1, hammadde akış hızı 1 mL/dk, reaksiyon sıcaklığı 80°C oleik asidin nihai dönüşümü, 24 saatlik çalışmada PV ile %84,23'ten %87,18'e yükseltilmiştir.

Nigiz'in 2021 yılında yaptığı çalışmada laurik asit ile metanol arasında bir esterleşme reaksiyonu inert ve katalitik bir pervaporasyon membran reaktöründe (PVMR) gerçekleştirilmiş ve dönüşüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Aynı işlem ayrıca kesikli reaktörde de gerçekleştirilerek membran reaktörün geleneksel reaktörlere göre üstünlüklerini göstermiştir. Katalizör olarak heteropoliasit olan fosfotungsit asit (PTA) kullanılmıştır. Metanol/laurik asit molar oranı 6, sıcaklık 65°C ve katalizör oranı ağırlıkça %2 olduğunda kesikli reaktörde dönüşüm oranı %80,7 iken inert membran reaktörde %98,9 ve katalitik membran reaktörde ise %97,5 olarak elde edilmiştir.

Dube ve arkadaşlarının (2007) yaptıkları çalışmada biyodizel üretmek için kanola yağı ve metanol kullanarak bu reaksiyonu membran reaktörde gerçekleştirmişlerdir. Kanola yağının transesterifikasyonu hem asit hem de baz katalizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma membran reaktöründe yarı kesikli modda 60, 65 ve 70°C'de ve farklı katalizör konsantrasyonlarında ve farklı besleme akış hızlarında gerçekleştirilmiştir. Membran reaktör, reaksiyon ürünlerinin orijinal kanola yağı beslemesinden ayrılmasını sağlamıştır. Reaktörün, yüksek saflıkta biyodizelden

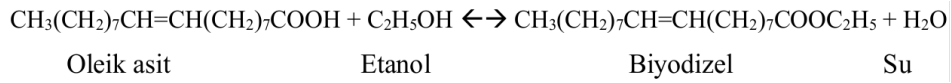
reaksiyona girmemiş kanola yağının çıkarılmasında ve reaksiyon dengesinin ürün tarafına kaydırılmasında faydalı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmada, oleik asit ve etanol arasındaki esterleşme reaksiyonu hem kesikli reaktörde hem de seçilen bir koşulda membran reaktörde gerçekleştirilerek iki sistem karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın, molar besleme oranının ve katalizör oranının asit dönüşümüne etkisi belirlenmiştir. Optimal koşullarda yapılan deneylerde sülfürik asit kullanılmıştır. Membran reaktörde ise, hidrofilik özelliği, su geçirme kapasitesi yüksek bir polimer olan polivinil alkol (PVA) kullanılarak dönüşüm artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışma, sülfürik asit katalizörlüğünde hem kesikli hem de karşılaştırmalı olarak membran reaktörde yapılan ilk çalışmalardan biridir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Kesikli reaksiyon

Oleik asit ve etanol arasındaki reaksiyon Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Oleik asidin etanol ile esterleşme reaksiyonu

Yapılan kesikli deneylerde biyodizellerin üretimi üç boyunlu bir kesikli reaktörde gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon boyunca sürekli karıştırmayı sağlayacak bir mekanik karıştırıcı ve bununla beraber reaksiyon boyunca yoğunlaşmayı sağlayacak bir kondenser kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Üç boyunlu kesikli reaktör deney düzeneği

Deneyde koşullar değiştirilmeden önce deney süresi belirlenmiştir. Saat başı örnek alınarak asit miktarına bağlı dönüşüm hesaplanmış ve 4 saat sonra dönüşüm artmadığı gözlenmiştir (Nigiz, 2021).

Belirlenen asit/alkol mol oranına uygun olarak ölçülen etil alkol ve oleik asit reaktörde belirlenen sıcaklık değerinde karışmaya bırakılmıştır. Daha sonra içerisine sülfürik asit katalizörü eklenmiş ve hemen ardından ilk asiditesi belirlenmek üzere yaklaşık 0,1 gram örnek alınmıştır. Sodyum hidroksit ile titre edilerek asitliği Denklem 1'e göre hesaplanmıştır. 4 saat sonunda aynı işlemler tekrar edilerek son asiditesi ve dönüşümü (Denklem 2) hesaplanmıştır. Tablo 1'de değişken deney noktaları verilmiştir. Öncelikle sabit sıcaklıkta (45 °C) ve sabit katalizör miktarında (%4) molar besleme oranının etkisi (3, 6, 9) belirlenmiştir. Ardından sabit sıcaklık (45 °C) ve molar besleme oranında (9), katalizör oranının etkisi (%2, %4), son olarak da sabit molar besleme (6) ve katalizör (%4) oranında sıcaklığın dönüşüme etkisi belirlenmiştir. Ayrıca membran reaktörle karşılaştırmak üzere ara bir noktada (55 °C, molar oran 3 ve katalizör oranı %4) kesikli deney yapılmıştır. Tüm deneyler üç kez tekrar edilip, ortalama sonuçlara yer verilmiştir. Tekrar deneylerde dönüşüm farklılıklarının $\pm 2\%$ 'den az olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Deney koşulları

Sıcaklık (°C)	Alkol/asit mol oranı (M)	Katalizör oranı (ağırlıkça)
45	3	4
45	6	4
45	9	4
45	9	2
55	6	4
65	6	4
55	3	4

$$F(\text{wt. \%}) = \frac{M_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}} \cdot MW_{\text{OA}}}{1000 \cdot W} \cdot 100 \quad (1)$$

Burada F, kütlece serbest asit miktarı, M_{NaOH} , kullanılan titrantın molaritesi, V_{NaOH} , kullanılan titrantın hacmi, M_w , oleik asidin moleküler kütlesi ve W , titrasyonda kullanılan numune kütlesidir.

$$X = \frac{n_{A0} - n_A}{n_{A0}} \quad (2)$$

Burada n_{A0} , asitin başlangıçtaki mol sayısı, n_A ise 4 saat sonraki mol sayısı ve x ise dönüşümdür.

2.2. PVA Membran Hazırlama

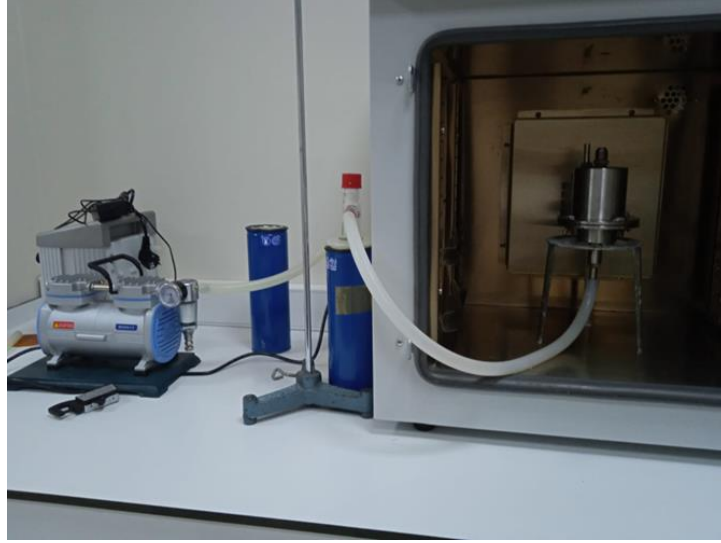
Membran reaktörde kullanılmak üzere PVA membran hazırlanmıştır. %7 PLA içeren PVA-su karışımı, 80 °C'de manyetik karıştırıcıya konularak 300 rpm karıştırma hızında homojen olana kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım petri kaplarına aktarılarak 2 gün boyunca kurumaya bırakılmıştır (Dube, 2007) (Şekil 5).



Şekil 5. Membran hazırlama düzeneği ve hazırlanan membran

2.3. Membran Reaktörde Biyodizel Üretim

Kesikli reaktörde deneyler tamamlandıktan sonra 55 °C, alkol:asit oranı 3 ve katalizör oranı %4 olduğu durumda membran reaktörün dönüşüm üzerindeki etkisini incelemek için deneme yapılmıştır. Reaksiyon sıcaklığını sağlayabilmek için reaktör bir etüv içerisine yerleştirilmiştir. Reaktanlar reaktöre yerleştirildiğinde süre sıfır olarak kaydedilmiştir. Reaksiyon 4 saat boyunca gerçekleştirilmiştir (Nigiz, 2021) (Şekil 6).



Şekil 6. Membran reaktör sistemi

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sıcaklığın Dönüşüme Etkisi

Sıcaklık esterleşme reaksiyonunda önemli bir parametredir. Bu sebeple sıcaklık artışının oleik asit dönüşümüne etkisi incelenmiştir ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Yapılan çalışmada alkol/asit mol oranı 6 ve katalizör konsantrasyonu 4 olarak alınmıştır. Sıcaklık 45°C olduğunda oleik asit dönüşümü %74,9 iken 55°C olduğunda %77,6'ye yükseldiği, 65°C olduğunda ise %85,4'e yükseldiği gözlemlenmiştir. Etanol ile oleik asit esterleşmesi endotermik bir reaksiyondur. Arrhenius denkleminde sıcaklık artışı reaksiyon hızını da artırır. Bu sebeple sıcaklık arttığında dönüşüm de artar. Sonuç olarak yapılan çalışmada sıcaklık arttığında dönüşüm de arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 3. Sıcaklığın dönüşüme etkisi

Sıcaklık (°C)	Alkol/asit mol oranı (M)	Katalizör oranı (ağırlıkça)	Dönüşüm
45	6	4	74,9
55	6	4	77,6
65	6	4	85,4

3.2. Alkol/Asit Mol Oranının Dönüşüme Etkisi

Alkol/asit mol oranı dönüşüm için önemli bir parametredir. Alkol/asit mol oranı yetersiz olduğu durumlarda denge dönüşümünü arttırmak için artırılmalıdır. Bu sebeple çalışmada 45°C sıcaklıkta ve %4 katalizör oranında alkol/asit mol oranının etkisi incelenmiştir. Tablo 4'e bakıldığında etanol/oleik asit mol oranı 3 iken dönüşüm %41,38 iken, mol oranı 6'ya çıkarıldığında dönüşümün %74,9'a yükseldiği gözlemlenmiştir. Etanol ve oleik asit arasında görülen esterleşme reaksiyonunda sınırlayıcı bileşen oleik asittir. Dönüşüm değerlerini arttırmak için fazla miktarda etanol beslenmiştir. Etanol artışıyla substrat temas oranı attığından dolayı dönüşümde artmıştır. Ancak oran 9'a yükseldiğinde dönüşüm değeri çok fazla artmamıştır. Bu da bu reaksiyon için bu proses koşullarında düşük sıcaklıkta elde edilecek maksimum denge dönüşüm değerlerinin molar oran 6'dan sonra çok fazla değişmediğini göstermektedir.

Tablo 4. Asit/mol oranının dönüşüme etkisi

Sıcaklık (°C)	Alkol/asit mol oranı (M)	Katalizör oranı (ağırlıkça)	Dönüşüm
45	3	4	41,4
45	6	4	74,9

45	9	4	76,0
----	---	---	------

3.3. Katalizör Oranının Dönüşüme Etkisi

Katalizör reaksiyonun denge dönüşümü için geçen sürenin azaltılmasına yardımcı olur. Katalizör konsantrasyonunun artması aktif bölge-tepken temas alanını artırarak dönüşümün artmasını sağlar. Bu çalışmada sıcaklık, alkol/asit mol oranı sabit tutularak katalizör oranındaki artışın dönüşüm üzerindeki etkisi incelenmiştir. Reaksiyon 45°C’de, alkol/asit mol oranı 9 iken önce %2 katalizörle, daha sonra %4 katalizörle gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. Diğer iki parametre sabit tutulurken (45°C ve Alkol/Asit mol oranı:9), %2, %4 ve %6 katalizör oranlarına sahip deneylerde dönüşüm sırasıyla %69,42 iken %76’ya ve %79.1’e çıkmıştır. Bu değerler bize katalizör konsantrasyonu arttıkça dönüşümün az miktarda arttığını göstermektedir. Bunun sebebi tersinir reaksiyonlarda katalizörün sadece reaksiyonun denge dönüşümü için geçen sürenin kısaltılmasına yardımcı olmasıdır.

Tablo 5. Katalizör konsantrasyonunun dönüşüme etkisi

Sıcaklık (°C)	Alkol/asit mol oranı (M)	Katalizör oranı (ağırlıkça)	Dönüşüm
45	9	2	69,7
45	9	4	76,0
45	9	6	79,1

3.4. Membran Reaktörün Dönüşüme Etkisi

Yapılan çalışmada reaktör tipinin oleik asit dönüşümü üzerindeki etkisi incelendi. Reaksiyonlar önce kesikli reaktörde 55°C sıcaklıkta, alkol/asit mol oranı 3 ve katalizör oranı 4 iken gerçekleştirildi ve dönüşüm %50 elde edildi. Aynı koşullarda membran reaktörde gerçekleşen reaksiyonda ise dönüşüm %75’e çıkarak %26’lık bir artış göstermiştir. Sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

Membran reaktörde, ürünlerden birinin reaktör ortamından seçici olarak uzaklaştırılması istenir (Aranda vd.,2008). Bu sebeple bu çalışmada su seçici PVA membranı kullanılmıştır. Membran esterleşme sırasında suyu reaksiyondan uzaklaştırmıştır ve toplanan su, sıvı azot kullanılarak yoğunlaştırılmıştır. Reaksiyon sırasında su, reaktör ortamından uzaklaştığı için Le Chatelier prensibine bağlı olarak dönüşümde artış gözlemlenmiştir.

Tablo 6. Membran reaktörün dönüşüme etkisi

Sıcaklık (°C)	Alkol/asit mol oranı (M)	Katalizör oranı (ağırlıkça)	Dönüşüm
55	3	4	50
55	3	4	75

4. Sonuç

Bu çalışmada oleik asit ve etanol esterleşmesi hem kesikli hem de membran reaktörde gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, alkol/asit mol oranı ve katalizör oranı gibi faktörlerin oleik asit dönüşüme etkisi incelenmiştir. Kesikli reaktörde en yüksek dönüşüm değeri % 85,5 ile 65 °C sıcaklıkta, alkol: asit molar besleme oranı 6:1 iken, %4 katalizör konsantrasyonu ile elde edilmiştir. Etanol/oleik asit molar oranı 3, sıcaklık 55 °C ve katalizör oranı ağırlıkça %4 olduğunda kesikli reaktörde %50 oranında dönüşüm elde edilirken, membran reaktörde %75 oranında elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak aynı çalışma koşullarında, membran reaktörde elde edilen asit dönüşüm sonuçları kesikli reaktörlerden %26 oranında arttığı görülmüştür. Bu çalışmada sülfürik asit homojen katalizörü kullanılmıştır. Denge reaksiyonlarında düşük operasyon koşullarında dönüşümü arttırmak ve katalizör geri dönüşümünü sağlamak için, heterojen ve yüksek performanslı katalizörlerle oleik asit esterleşmesinin yapılması

planlanabilir. Ayrıca membran reaktörün performans artışı için de alt akım vakumunun artırılması da bir çözüm olarak sunulabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2022-4177

Kaynaklar

1. **Ali, S. H. (2009)**. Kinetics of catalytic esterification of propionic acid with different alcohols over Amberlyst 15. *International Journal of Chemical Kinetics*, 41(6), 432-448.
2. **Aranda, D. A., Santos, R. T., Tapanes, N. C., Ramos, A. L. D. & Antunes, O. A. C. (2008)**. Acid-catalyzed homogeneous esterification reaction for biodiesel production from palm fatty acids. *Catalysis letters*, 122, 20-25.
3. **Banchero, M. & Gozzelino, G. (2018)**. A simple pseudo-homogeneous reversible kinetic model for the esterification of different fatty acids with methanol in the presence of Amberlyst-15. *Energies*, 11(7), 1843.
4. **Banković-Ilić, I. B., Miladinović, M. R., Stamenković, O. S. & Veljković, V. B. (2017)**. Application of nano CaO-based catalysts in biodiesel synthesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 746-760.
5. **Cannilla, C., Bonura, G., Costa, F. & Frusteri, F. (2018)**. Biofuels production by esterification of oleic acid with ethanol using a membrane assisted reactor in vapour permeation configuration. *Applied Catalysis A: General*, 566, 121-129.
6. **Corro, G., Tellez, N., Jimenez, T., Tapia, A., Banuelos, F. & Vazquez-Cuchillo, O. (2011)**. Biodiesel from waste frying oil. Two step process using acidified SiO₂ for esterification step. *Catalysis today*, 166(1), 116-122.
7. **Dubé, M. A., Tremblay, A. Y. & Liu, J. (2007)**. Biodiesel production using a membrane reactor. *Bioresource technology*, 98(3), 639-647.
8. **Fukuda, H., Kondo, A. & Noda, H. (2001)**. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of bioscience and bioengineering*, 92(5), 405-416.
9. **Han, Y., Lv, E., Ma, L., Lu, J., Chen, K. & Ding, J. (2015)**. Coupling membrane pervaporation with a fixed-bed reactor for enhanced esterification of oleic acid with ethanol. *Energy Conversion and Management*, 106, 1379-1386.
10. **Hasanoğlu, A. M. (2008)**. Etil Asetat Üretimine Yönelik Esterleşme Reaksiyonunun Değişik Katalizörler Varlığında Pervaporasyon Membran Reaktörde İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
11. **Hosseini, S. A. (2022)**. Nanocatalysts for biodiesel production. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104152.
12. **Li, H., Niu, S. L., Lu, C. M. & Cheng, S. Q. (2015)**. The stability evaluation of lime mud as transesterification catalyst in resisting CO₂ and H₂O for biodiesel production. *Energy Conversion and management*, 103, 57-65.
13. **Ma, L., Han, Y., Sun, K., Lu, J. & Ding, J. (2015)**. Optimization of acidified oil esterification catalyzed by sulfonated cation exchange resin using response surface methodology. *Energy conversion and management*, 98, 46-53.
14. **Nigiz, F. U. (2021)**. Comparative study on use of pervaporation membrane reactor for lauric acid-Methanol esterification. *Separation and Purification Technology*, 264, 118443.
15. **Nigiz, F. U., Bayazıt, E., Türkmen, İ. D. & Hilmioglu, N. D. (2011)**. Pervaporasyon Membran Reaktörler ile Kimyasal Proseslerde Enerji Verimliliği, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 12-13.
16. **Rafiee, E. & Mirnezami, F. (2017)**. Temperature regulated Brønsted acidic ionic liquid-catalyze esterification of oleic acid for biodiesel application. *Journal of Molecular Structure*, 1130, 296-302.

EKSTRA SERT AŞINMA DİRENÇLİ HARDOX 600 ÇELİĞİNİN KURU-KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI

Yılmaz Küçük^{1*}, M. Sabri Gök¹

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın

Öz

Bu çalışmada, ekstra sert aşınma dirençli Hardox 600 çeliğinin kuru-kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Deneyler ball-on-disk aşınma aparatında ileri-geri doğrusal hareket modunda gerçekleştirilmiştir. Numuneler 6, 7.5 ve 9 mm/s kayma hızlarında ve 3, 5 ve 7 N luk yükler altında aşındırılmıştır. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında WC bilya kullanılmıştır. Numune hacim kayıplarının hesaplanmasında 3B profilometre görüntüleri kullanılmıştır. Aşınma yüzeylerinin incelenmesinde SEM mikrograflarından yararlanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda artan yük ve kayma hızına bağlı olarak hacim kayıplarının arttığı, ancak bunun yanı sıra artan yükte birlikte numune sürtünme katsayı değerinin düştüğü görülmüştür. Bununla birlikte değişen yük ve kayma hızına bağlı olarak numune yüzeylerinde meydana gelen aşınma mekanizmalarının farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hardox çeliği, ileri-geri doğrusal hareket, kuru kayma aşınması

DRY-SLIDING WEAR BEHAVIOR OF EXTRA-HARD WEAR-RESISTANT HARDOX 600 STEEL

Extended Abstract

Hardox steels have high strength and wear resistance. So, they are widely used in the automotive, mining, construction, agricultural, and ore processing industries. For this reason, the wear mechanisms on the machine parts, equipment, and machine tools exposed to harsh working conditions are performed as primarily abrasive and adhesive phenomena. In this study, the dry-sliding wear behavior of extra-hard wear-resistant Hardox 600 steel with chemical composition (% 0.4 C, % 0.56 Si, % 1 Mn, % 1.2 Cr, % 1.5 Ni, % 0.60 Mo, % 0.015 P, % 0.010 S) was investigated. The experiments were carried out in a ball-on-disk type tribometer device using reciprocating mode. The samples were abraded at sliding speeds of 6, 7.5, and 9 mm/s and under loads of 3, 5, and 7 N. A WC ball with a diameter of 6 mm was used as an abrasive. 3D profilometer images were used in the calculation of sample volume losses. SEM micrographs were used to examine wear surfaces. As a result of the experimental studies, it was observed that volume losses increased depending on the increasing load and sliding speed. However, it was determined that the friction coefficient values decreased with the increase in load, and it was evaluated that the main reason for this was the oxide layer caused by the temperature increase caused by friction in the contact area. It was determined that oxidation on the contact surface increased especially at low load and high sliding speed. In addition, the normal and tangential shear stresses that increased with the increasing load increased the plastic deformation, and the surface became flatter and less rough, reducing the friction coefficient. In addition, it was observed that the wear mechanisms occurring on the sample surfaces differed depending on the changing load and sliding speed. With the increase in load, first delamination, then adhesion and plastic deformation type wear mechanisms were detected.

Key Words: Hardox steel, reciprocating, dry sliding wear

1. Giriş

Yüksek mukavemetleri ve aşınma dirençleri nedeniyle hardox çelikleri, otomotiv, madencilik ekipmanları, inşaat, tarım aletleri ve cevher işleme endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Bu çelikler sahip oldukları brinell sertlik değerlerine göre adlandırılmaktadır (Zemlik vd., 2025; Bhakat vd., 2007; Rendón &

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):** Yılmaz KÜÇÜK;
Bartın Üniversitesi, Mimarlık, Mühendislik ve Tasarım Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, TÜRKİYE.

Geliş (Received) : 24.10.2024
Kabul (Accepted) : 12.11.2024
Basım (Published) : 31.12.2024

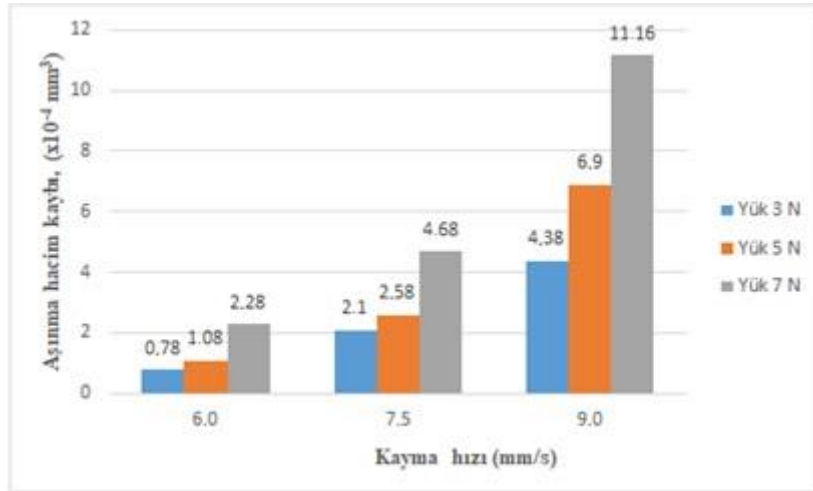
Olsson, 2009). Hardox çelikleri yüksek sertlikteki temperlenmiş martenzit mikro yapısı ve içeriğindeki diğer alaşım elementleri sayesinde yüksek dayanım ve sertliğe sahiptirler. Manganez, krom, nikel, molibden ve bor gibi alaşım elementlerinin 50 ppm'in altındaki fraksiyonları hipoötektoid çeliğin sertleşebilirliğini artırmakta ve ferrit ve perlit oluşumunu geciktirmektedir (Huang vd., 2019; Tchoumi vd., 2016; Xu vd., 2020). Literatürde yüksek aşınma dirençli çeliklerin eroziv ve abraziv aşınma davranışı üzerine çalışmalar bulunmakla birlikte (Ligier vd., 2022; Deng vd., 2014; Rojacz vd., 2022; Valtonen vd., 2019; Ojala vd., 2014; Konat & Napiórkowski, 2019), Hardox çeliğinin aşınmasına yönelik oldukça sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır (Zemlik vd., 2025; Białobrzeska & Konat, 2017). Bu amaçla bu çalışmada Hardox 600 çeliğinin farklı kayma hızlarında ve farklı yükler altındaki kuru-kayma aşınma davranışları incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kimyasal bileşimi % 0.4 C % 0.56 Si, % 1 Mn, % 1.2 Cr, % 1.5 Ni % 0.60 Mo % 0.015 P % 0.010 S olan ekstra sert aşınma dirençli Hardox 600 çeliğinin kuru-kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Çelik plaka lazer kesim cihazı ile 40 x 40 x 10 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Kesme işleminden sonra numunenin yüzeyi 1200 mesh SiC zımpara ile parlatıldıktan sonra temizlenerek aşındırma işlemine hazır hale getirilmiştir. Aşınma testleri 6, 7.5 ve 9 mm/s kayma hızlarında ve 3, 5 ve 7 N'luk yükler altında ball-on-disk aşınma cihazında ve ileri-geri doğrusal hareket yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı bilya olarak 6 mm çapında WC kullanılmıştır. Bilya sertliği 1800 HV'dir. Numunelerde meydana gelen hacim kayıplarının belirlenmesinde 3B profilometreden faydalanılmıştır. 6 mm boyunda oluşan izin en az 4 farklı bölgesinden alınan iz profili yüzey alanı ölçümlerinden ortalama iz kesit alanı belirlendikten sonra iz boyu ile çarpılarak aşınma hacim kaybı değerleri elde edilmiştir. Aşınmış yüzeyde meydana gelen aşınma mekanizmaları ile yüzey morfolojisinin değerlendirilmesinde ise SEM görüntülerinden faydalanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1'deki grafikte numunelere ait üç farklı kayma hızında ve üç farklı yük altında ileri-geri doğrusal hareket yöntemi ile kuru-kayma aşınması yapılan numunelerin hacim kaybı değerleri verilmiştir. Yükün olduğu kadar kayma hızının da numunelerin hacim kaybında önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır.

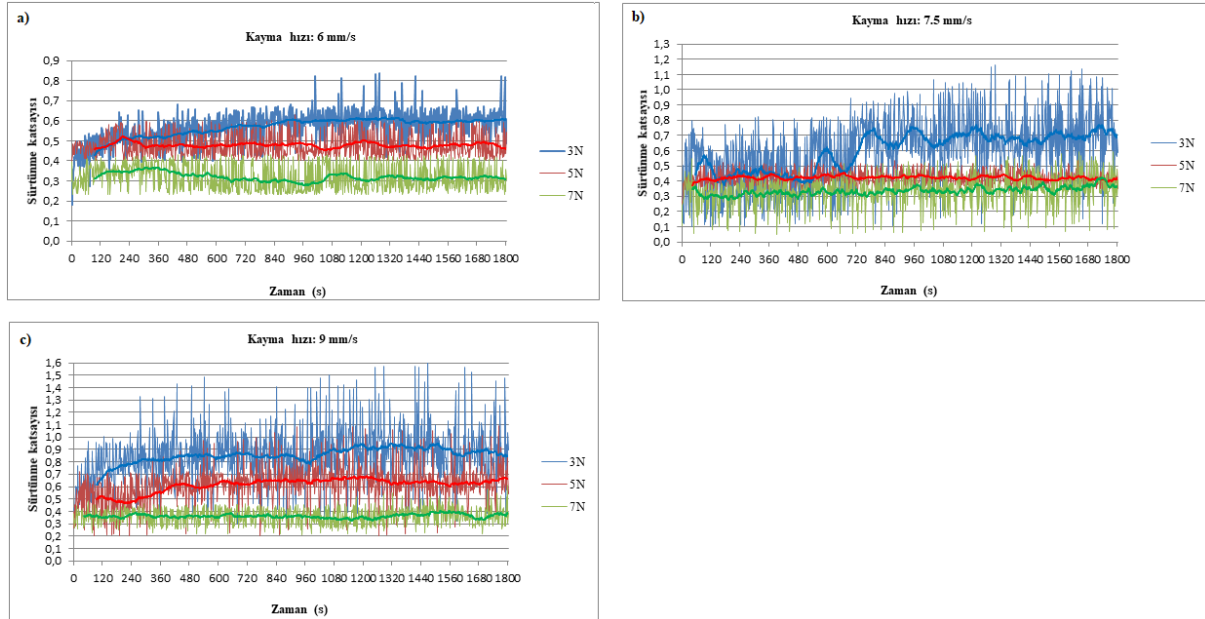


Şekil 1. Hardox 600 çeliğinde değişen yük ve kayma hızlarına bağlı olarak ortaya çıkan aşınma hacim kaybı değerleri

Tribolojik etkileşim karmaşık bir olaydır. Bu etkileşim esnasında, deney parametreleri ve ortama bağlı olarak numunede meydana gelen aşınma oranı ve aşınma mekanizmaları değişmektedir. Bilindiği üzere yük çoğu zaman hacim kayıplarının artmasında önemli bir parametredir. Yük aşındırıcı bilyanın alt yüzeye daha fazla basma gerilmesi uygulamasında önemli bir parametre olduğu kadar yüzeydeki aşınma mekanizmalarının şekillenmesinde de etkin faktördür (Öge vd., 2023; Küçük vd., 2023a; Küçük vd., 2023b; Küçük, 2020a). Böylece yüzey üzerinde oluşan normal ve teğetsel kayma gerilmeleri kadar, sürtünme kaynaklı temas sıcaklığının artması sonucu oluşan oksidasyonla da doğrudan ilişkilidir (Küçük, 2020b; Öge vd., 2019).

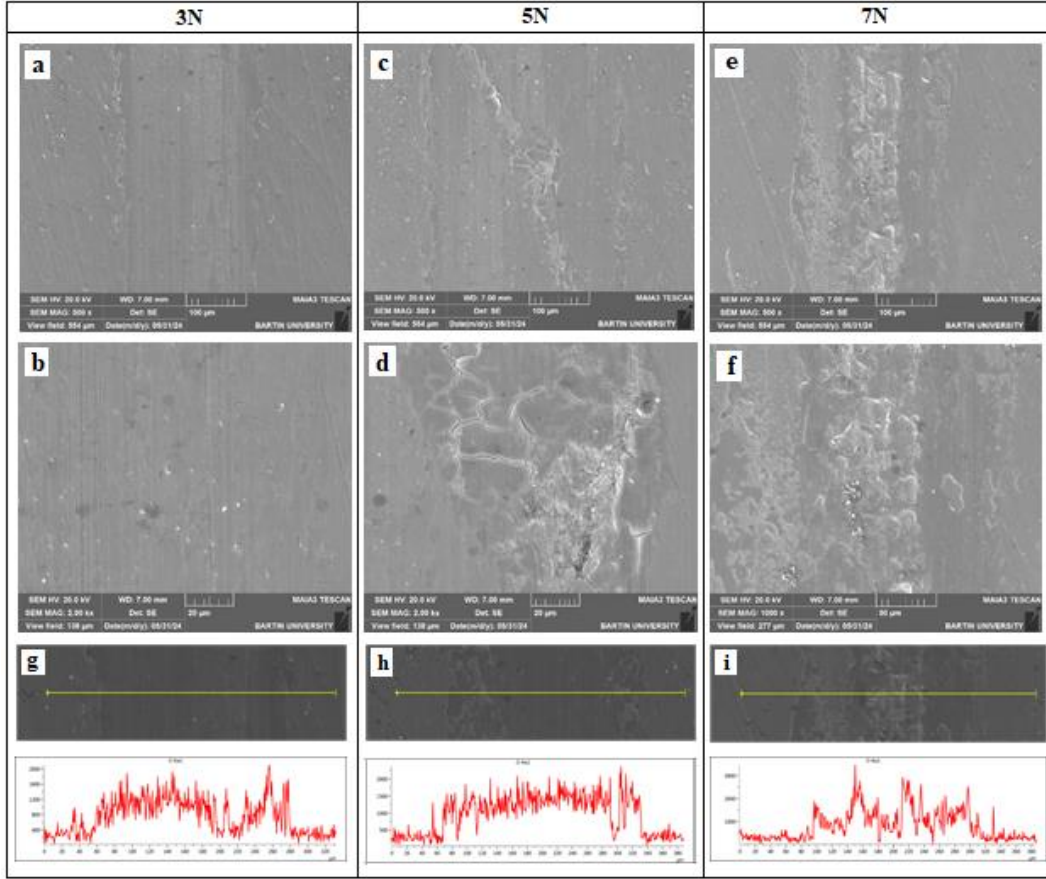
Oksidasyon sonucu temas yüzeyinde hızla bir oksit tabakası oluşur ve söz konusu bu tabaka deney süresince uygulanan tekrarlı yükler ve gerilmelerin etkisiyle kırılarak kopar ve aşındırıcı abrasiv partiküller olarak hacim kayıplarının oluşmasında önemli bir rol oynar (Kucuk vd., 2018). Yine aşındırılan malzemenin kimyasal bileşimi yük ve kayma hızı numune üzerindeki hasar mekanizmasını etkilemektedir (Küçük & Öge, 2022).

Numuneler ait sürtünme katsayısı (SK) değerleri Şekil 2(a-c)'de sırası ile verilmiştir. Şekil 2a'da en düşük kayma hızında gerçekleşen testlerde yükün SK değerinin düşmesinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Kayma hızının 7.5 mm/s'ye çıkması ile 3 N luk yük altında SK değerinin özellikle 7. dk (720 s) dan itibaren yükseldiği ve dalgalandığı dikkati çekmektedir (Şekil 2b). Kayma hızının 9 mm/s çıkartılması ile SK değerlerinde nisbi artış görülmüştür (Şekil 2c).

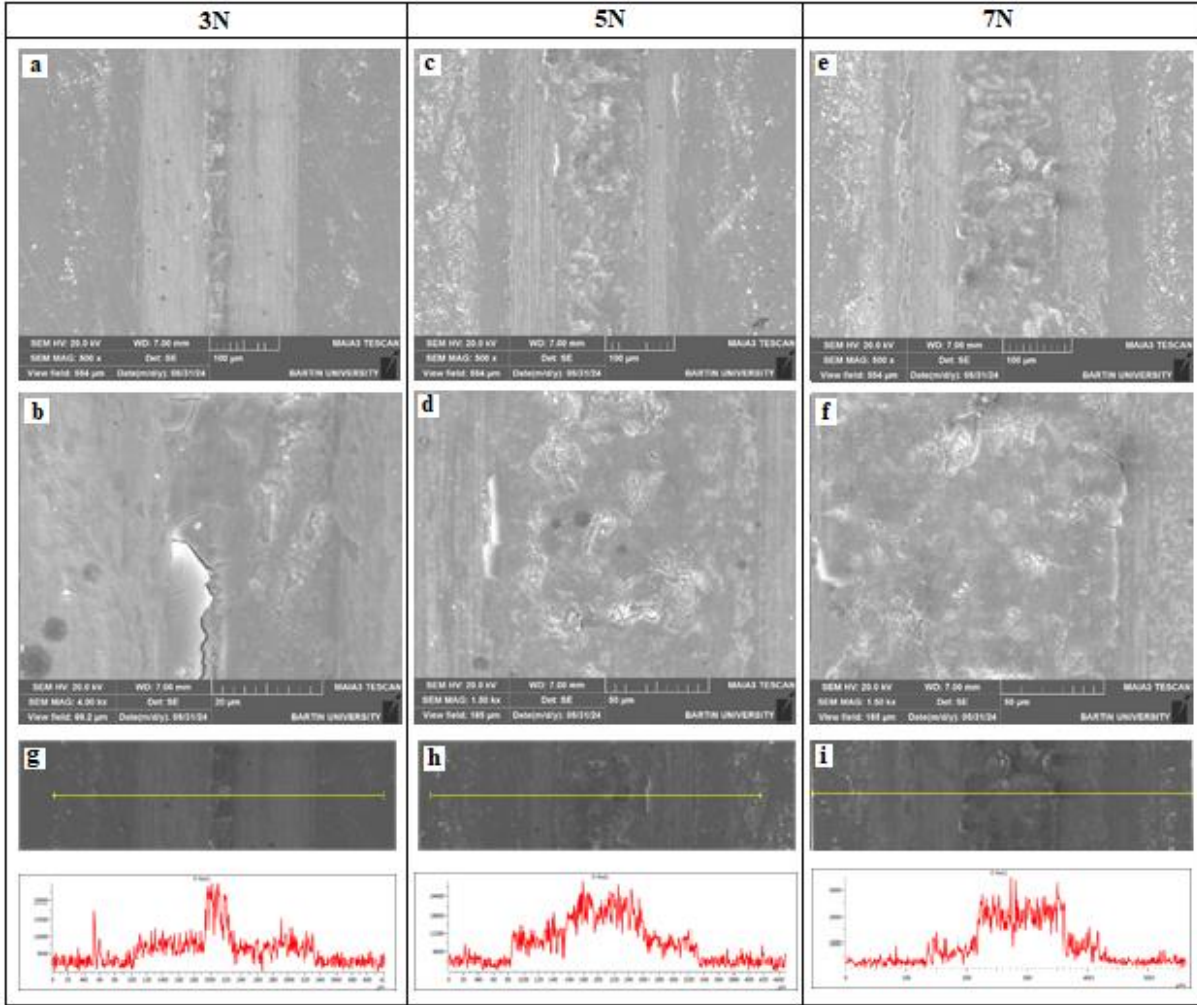


Şekil 2. Farklı yük ve kayma hızlarında kaydedilen sürtünme katsayısı değerleri
a) 6 mm/s, b) 7.5 mm/s, c) 9 mm/s

Şekil 3(a-f)'de 6 mm/s kayma hızında ve 3, 5 ve 7 N luk yükler altında aşındırılmış numunelerin yüzeyinden iki farklı büyütmeye alınmış SEM aşınma izi fotoğrafları verilmiştir. Yükün artması ile aşınma mekanizmasının değiştiği SEM aşınma izi fotoğraflarından görülebilmektedir. Şekil 3(a-b)'de aşınma izinin düşük yük altında oksidasyon mekanizması şeklinde gerçekleştiği yüzeyde mikro çiziklerin ve kısmi aşınma partiküllerinin varlığı görülebilmektedir (Güven vd., 2015; Kucuk, 2012). Şekil 3 c-d incelendiğinde ise oksidasyon mekanizması ile delaminasyon aşınma mekanizmalarının sonucu plastik deformasyonun izlerini görmek mümkündür. Yükün 7 N a çıkması ile birlikte yüzeyde oluşan oksit tabakasının, alınan EDS analizinden de açıkça görüldüğü üzere (Şekil 3i), kırıldığı ve ortaya çıkan aşınma atıklarının abrasyon etkisi ile birlikte yüzeyde plastik deformasyona sebep olduğu görülmektedir (Şekil 3f).



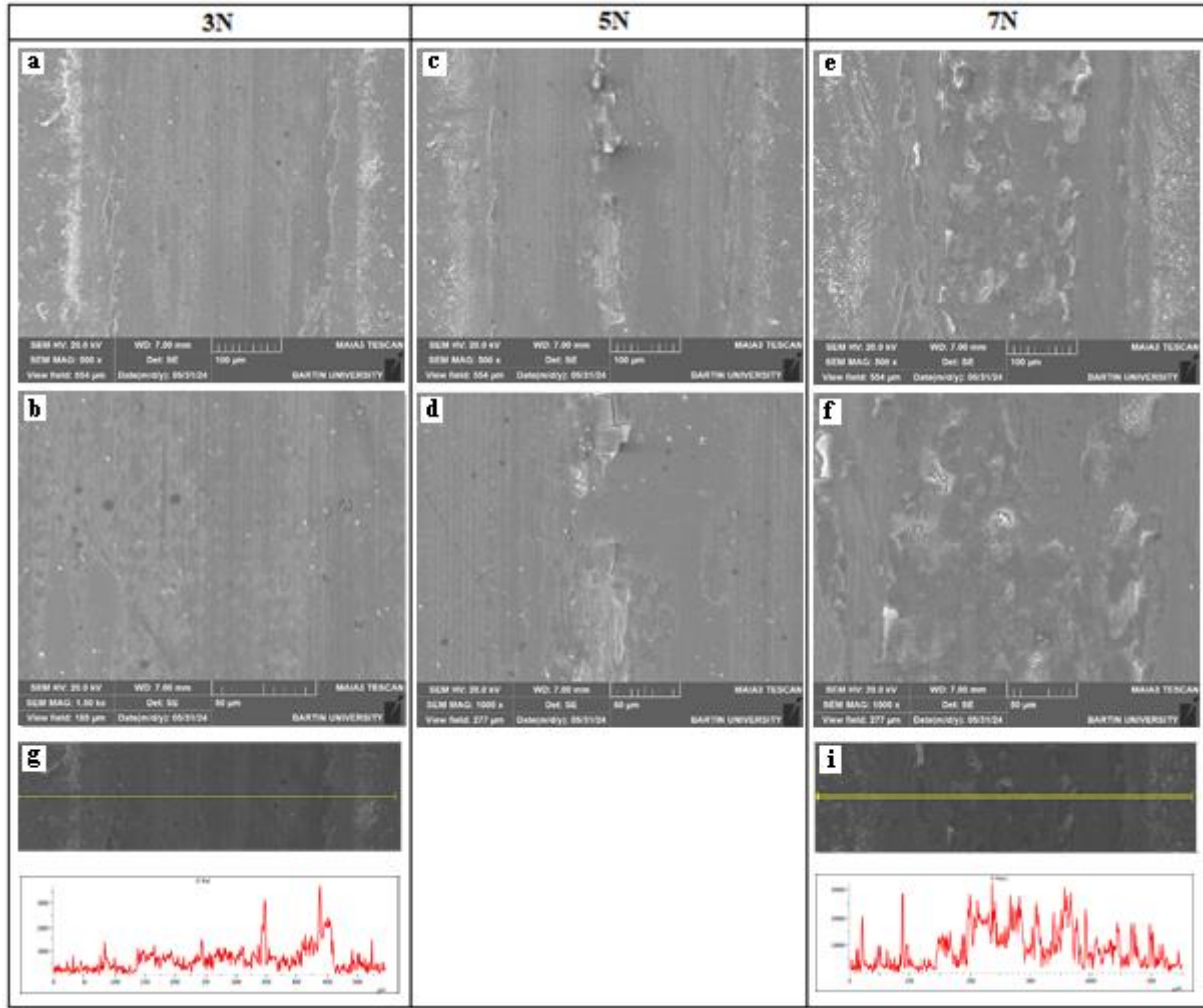
Şekil 3. 6 mm/s kayma hızı ve farklı yükler altındaki aşınma testleri sonrasında alınan (a-f) SEM görüntüleri (b,d ve f sırasıyla a,c,e nin 2kx büyütülmüş görüntüleridir), (g-i) EDS çizgi analizleri



Şekil 4. 7.5 mm/s kayma hızı ve farklı yükler altındaki aşınma testleri sonrasında alınan (a-f) SEM görüntüleri (b,d ve f sırasıyla a,c,e nin büyütülmüş görüntüleridir), (g-i) EDS çizgi analizleri

Kayma hızının artması ile 3N'luk yükte bile aşınma izinin merkez bölgesinde daha fazla hasarın meydana geldiğini söylemek mümkündür (Şekil 4a-b). Bu merkez bölgede aşırı oksidasyon delaminasyon ve plastik deformasyon ana aşınma mekanizmaları olurken, kenar bölgelerindeki oksidasyonun daha az olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 4g'de verilen EDS analizinde de görülmektedir. Yükün 5N'a çıkarılması ile merkez bölgenin biraz daha genişlediği (Şekil 4c-d) ve yine oksidasyon ve plastik deformasyon baskın aşınma mekanizmaları olurken bu bölgenin sağ ve solu mikro çizilmelere maruz kalmıştır. En yüksek yük olan 7N altındaki aşınma yüzey morfolojisi ise (Şekil 4e-f) 5N'luk yük ile benzerlik taşımaktadır. Ancak aşınma yüzeyinin sağında ve solunda daha fazla aşınma artışı dikkat çekmektedir.

Şekil 5(a-f)'de en yüksek kayma hızı olan 9 mm/sn kayma hızında ve 3, 5 ve 7N'luk yükler altında aşındırılmış numunelerin yüzeyinden yine iki farklı büyütmede alınmış SEM aşınma izi fotoğrafları verilmiştir. Kayma hızının artması yüzeyde oksidasyon tipi aşınma mekanizmasını tetiklemiştir. Diğer aşınma mekanizmaları benzerlik göstermektedir. Şekil 5'te verilen EDS çizgi analizlerinde özellikle 3 N yük altında önemli bir oksit katmanı oluşmazken, 7 N luk yükte yüzeyde oluşan oksidasyon dikkat çekicidir ve yüzeydeki oksidasyona bağlı aşınma izlerinin oluşumunu destekler niteliktedir.



Şekil 5. 9 mm/s kayma hızı ve farklı yükler altındaki aşınma testleri sonrasında alınan (a-f) SEM görüntüleri (b,d ve f sırasıyla a,c,e nin büyütülmüş görüntüleridir), (g-i) EDS çizgi analizleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada ekstra sert Hardox 600 çeliği üzerinde üç farklı yük ve üç farklı kayma hızında kuru-kayma aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

1. Yükün artması ile numune hacim kaybının arttığı ancak sürtünme katsayısı değerinin düştüğü görülmüştür.
2. 6 ve 7.5 mm/s kayma hızlarında uygulanan tüm yüklerde, 9 mm /s lik kayma hızında ise en yüksek yük (7N) altında yüzeyin tamamen sürtünme kaynaklı oksit tabakası ile kaplandığı görülmüştür.
3. Yükün artması ile önce delaminasyon, sonrasında adhezyon ve plastik deformasyon tipi aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir.
4. Kayma hızının da aşınma mekanizmasının değişiminde etkili olduğu anlaşılmıştır.

Kaynaklar

1. Bhakat, A. K., Mishra, A. K. & Mishra, N. S. (2007). Characterization of wear and metallurgical properties for development of agricultural grade steel suitable in specific soil conditions. *Wear*, 263(1-6), 228-233.
2. Bialobrzeska, B. & Konat, L. (2017). Comparative analysis of abrasive-wear resistance of brinar and hardox steels. *Tribologia- Finnish Journal of Tribology*, 272, 7-16.
3. Deng, X. -T., Wang, Z. -D., Han, Y., Zhao, H. & Wang, G. -D. (2014). Microstructure and Abrasive Wear

- Behavior of Medium Carbon Low Alloy Martensitic Abrasion Resistant Steel. *J. Iron Steel Res. Int.*, 21, 98–103.
4. **Günen, A., Küçük, Y., Er, Y., Çay, V. V., Öge, M. & Gök, M. S. (2015).** Effect of the powder particle size on the wear behavior of boronized AISI 304 stainless steel. *Materials Testing*, 57(5), 468-473.
 5. **Huang, L., Hua, X., Wu, D., Jiang, Z. & Ye, Y. (2019).** A study on the metallurgical and mechanical properties of a GMAW-welded al-mg alloy with different plate thicknesses, *Journal of Manufacturing Processes*, 37, 438-445.
 6. **Konat, L. & Napiórkowski, J. (2019).** The Effect of the Method And Parameters of the Heat Treatment on Abrasive Wear Resistance of 38GSA Steel. *Tribologia- Finnish Journal of Tribology*, 285, 61–69.
 7. **Kucuk, Y., Oge, M., Gok, M. S. & Karaoglanli, A. C. (2018).** Ferrochromium slag as a protective coating material against oxidation for caster rolls. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 15, 1240-1247.
 8. **Kucuk, Y. (2012).** Investigation of Abrasiveness Property of Blast Furnace Slag on Ceramic Coatings via the Abrasive Slurry Wear Method. *Tribology Transactions*, 55(6), 762–771.
 9. **Küçük, Y., Erdoğan, A., Kurşuncu, B. & Gök, M. S. (2023a)** Effects of surface roughness and counter body variables on the dry sliding wear behavior of AISI 4140 steel based on the elastoplastic flattening model. *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 11(2), 025002.
 10. **Küçük, Y., Altaş, E. & Topcu, M. E. (2023b).** A comparative analysis of the effect of laser surface treatment on the dry sliding wear behavior of ductile cast irons with different microstructures. *Optik*, 274, 170540.
 11. **Küçük, Y. (2020a).** Effect of counterbody on the dry sliding wear performance of plasma sprayed calcia-stabilized zirconia coating. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 92, 105284.
 12. **Küçük, Y. (2020b).** Effect of counter body on wear behavior of plasma-sprayed TiO₂-45Cr₂O₃ coating. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 9(1), 237–252.
 13. **Küçük, Y. & Öge, M. (2022).** Elevated Temperature Wear Behavior of FeCr Slag Coating as an Alternative Coating Material for Caster Rolls. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 58, 119–128.
 14. **Ligier, K., Zemlik, M., Lemecha, M., Konat, L. & Napiórkowski, J. (2022).** Analysis of Wear Properties of Hardox Steels in Different Soil Conditions. *Materials*, 15, 7622.
 15. **Ojala, N., Valtonen, K., Heino, V., Kallio, M., Aaltonen, J., Siitonen, P. & Kuokkala, V.-T. (2014).** Effects of composition and microstructure on the abrasive wear performance of quenched wear resistant steels. *Wear*, 317, 225–232.
 16. **Öge, M., Küçük, Y., Öge, T. Ö., Günen, A., Kanca, Y. & Gök, M. S. (2023).** Effect of boriding on high temperature tribological behavior of CoCrMo alloy. *Tribology International*, 187, 108697.
 17. **Öge, M., Kucuk, Y., Gok, M. S. & Karaoglanli, A. C. (2019).** Comparison of dry sliding wear behavior of plasma sprayed FeCr slag coating with Cr₂O₃ and Al₂O₃-13TiO₂ coatings. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 16, 2283-2298.
 18. **Rendón, J. & Olsson, M. (2009).** Abrasive wear resistance of some commercial abrasion resistant steels evaluated by laboratory test methods. *Wear*, 267(11), 2055-2061.
 19. **Rojacz, H., Katsich, C., Kirchgaßner, M., Kirchmayer, R. & Badisch, E. (2022).** Impact-abrasive wear of martensitic steels and complex iron-based hardfacing alloys. *Wear*, 492–493, 204183.
 20. **Tchoumi, T., Peyraut, F. & Bolot, R. (2016).** Influence of the welding speed on the distortion of thin stainless steel plates - numerical and experimental investigations in the framework of the food industry machines, *J Mater Process Technol.*, 229, 216-229.
 21. **Valtonen, K., Ojala, N., Haiko, O. & Kuokkala, V. -T. (2019).** Comparison of various high-stress wear conditions and wear performance of martensitic steels. *Wear*, 426–427, 3–13.
 22. **Xu, C., Guo, N., Zhang, X., Jiang, H., Tan, Y. & Zhou, L. (2020).** Influence of welding speed on weld pool dynamics and welding quality in underwater wet FCAW, *Journal of Manufacturing Processes*, 55, 381-388.
 23. **Zemlik, M., Konat, L. & Bialobrzaska, B. (2025).** Analysis of the possibilities to increase abrasion resistance of welded joints of Hardox Extreme steel. *Tribology International*, 201, 110271.

CONE YIELD AND GROWTH CHARACTERISTICS IN A PLANTATION OF *CUPRESSUS SEMPERVIRENS*

Nebi Bilir^{1*}

¹Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Isparta

Abstract

Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.) is an important secondary forest tree species in Turkish forestry because of its high adaptation ability and resistance to different ecological condition. However, limited studies were carried out in cypress. In this study, cone numbers, tree height, diameters at breast height and at base were surveyed from 75 individuals chosen randomly at eighteen years' plantation in the species. Interaction between number of cones and growth characteristics was estimated together with fertility variation and linkage parameters (i.e. population size) to contribute management and practices of seed collection and gene conservation areas, and other forestry practices of the species. Mean cone number was 86/tree ranged from 36 to 174. Individual trees had large differences for the growth traits, while means of tree height, diameters of breast height and base were 6.1 m, 9.9 cm, and 12.6 cm, respectively. Fertility variation was 1.15 (87% of total trees, CV%=38.9), which close to typical population. Positive and significant ($p \leq 0.05$) relations were found between growth characteristics and cone production in *Cupressus sempervirens*. Tree height was better predictor in cone production than diameters.

Key Words: Diameter, fertility, height, population, reproductive.

1. Introduction

Increasing of unproductive forest area is an important environmental and commercial problem in the world. Türkiye has 23.4 million ha forests of which about 9.7 million ha (%41) are considered as unproductive (Anonymous, 2024). Forest establishment is the most important way to increase productive forest land by quality seeds extracted cones. Quality and suitability of seed sources play important roles in plantation forestry and, to improve of present unproductive and productive forest areas. It is getting importance of Mediterranean cypress or also called Italian cypress (*Cupressus sempervirens* L.) because of its using widely for different purposes such as conversion of unproductive forest area and other poor environmental conditions to productive forest because of its resistance to arid areas, and also to forest fire (Neyişçi, 1996), despite the its limited natural distribution, less than 600 ha in Türkiye (Özçelik, 2006). The species is also used widely as monumental trees by two taxa (*Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* and var. *pyramidalis*) in different areas of Türkiye. Mediterranean cypress had the highest diameters at base and at breast height performances compare to Black pine (*Pinus nigra* Arnold.), and Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) in 27 years' plantation (Özbey, 2023). These advantages emphasized importance of seed collection areas for future plantation in Mediterranean cypress. However, Cypress has three gene conservation areas at 184.2 ha, and three seed plantations at 14.45 ha according to the latest forest inventory of Türkiye (Anonymous, 2024).

Mediterranean cypress is a native species to the eastern Mediterranean region such as Albania, Croatia, Greece, Türkiye, Cyprus, Lebanon, Israel, Italy and in Iran (Anşın and Özkan, 1993). *Cupressus sempervirens* grows at Taurus mountains and western part of Türkiye up to 1800 m. naturally (Kayacık, 1966; Özalp, 1991).

The species is a medium-sized coniferous evergreen tree more than 40 m tree height, and 2 m diameter, and also over 1000 years old (Anşın and Özkan, 1993; Özçelik, 2006). Estimation of the interactions among growth and reproductive traits were important tools in genetic-breeding practices such as selection and management of seed collection and gene conservation areas. However, limited studies were carried out in genetics and breeding of the species (Sabuncu, 2004; Çalhıkoğlu et. al., 2010; Bilir et. al., 2017a; Özbey et. al., 2024).

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Nebi BİLİR;

Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry,
Isparta, TÜRKİYE.

Geliş (Received) : 06.11.2024

Kabul (Accepted) : 13.11.2024

Basım (Published) : 31.12.2024

This study was conducted to estimate correlations among cone number and growth characteristics (height, diameters at breast height and base), and also cone fertility variation, and to discuss seed collection and gene conservation practices in *Cupressus sempervirens*.

2. Material and Methods

Numbers of mature cone (C_N) (Figure 1), tree height (H), diameters at breast height ($d_{1.30}$), and at base (D_0) were measured at 75 individuals chosen randomly at eighteen years plantation located at latitude $37^{\circ}24'$ N, longitude $30^{\circ}47'$ E, and between 550 and 650 m. asl. of the species was sampled at southern part of Türkiye in April of 2024 (Figure 1).



Figure 1. Sampled population (left side) and mature cones (right side).

The cone fertility variation (Ψ_C) (Kang and Lindgren, 1999; Bilir, 2011) and the effective number of parents (N_C) (Kang et al., 2003) depending on the census number (N) and individual cone fertility of the i^{th} tree (Con_i) were estimated as:

$$\Psi_C = N \sum_{i=1}^N Con_i^2 ; \quad N_p = \frac{N}{\Psi_C} \quad (1\&2)$$

Growth characteristics and number of cones was related by phenotypic Pearson's correlation analysis at SPSS package (SPSS, 2011).

3. Results and Discussion

3.1. Cone Production and Fertility Variation

Sampled individuals had high variation for cone production and the growth traits. Mean cone number was 86 per tree, while it ranged from 36 to 174 in the individuals. The most abundant eight trees (10% of total sampled individuals) produced about 20% of total cone production in the plantation (Figure 2). Mean cone number was 72 in eleven years of the plantation (Bilir et al., 2017a). It indicated importance of age of plantation in cone yield. However, there could be many environmental or genetical effects in these variations. It was reported that some abiotic and biotic (e.g., age, year, climate) effects have been reported as effective on variation of reproductive characters (Bila, 2000; Kang, 2001; Prescher, 2007; Varol et al., 2017; Yazıcı, 2024; Bilir and Yazıcı, 2024). For instance, severe drought effected on reproductive characteristics of seed orchards of *Pinus brutia* Ten. and *Cedrus*

libani A. Rich. (Varol et al., 2017). Therefore, it was needed to collect more fertility data for detail conclusion for selection of seed collection areas. Large variation in fertility among trees were found in natural and plantation populations of many plant species (e.g., El-Kassaby, 1995; Bila and Lindgren, 1988; Kang et al., 2003; Bilir et al., 2005 and 2023a; Park et al., 2017; Yazıcı and Bilir, 2017 and 2023; Bilir and Kang, 2021).

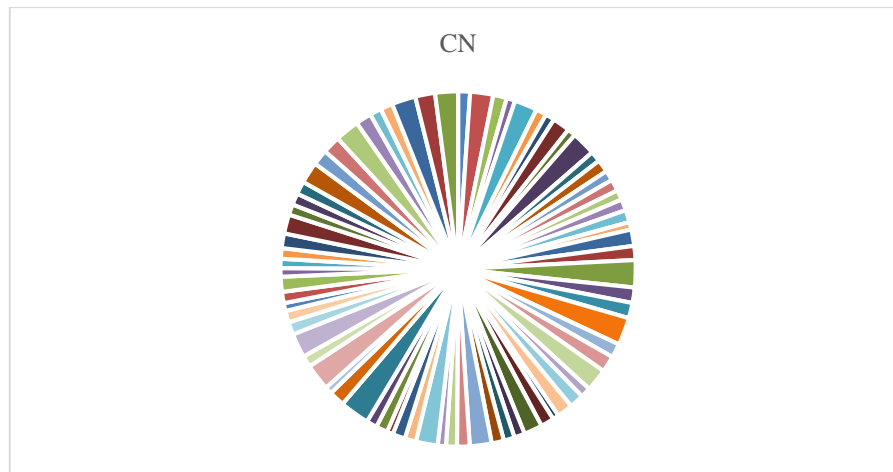


Figure 2. Individual cone production in the plantation.

Estimated fertility variation which was 1.15 (87% of total trees, CV%=38.9) could have been expected level for foresters as a target population ($\Psi < 3$, CV% < 140) (Kang, 2001; Kang and Bilir, 2021) based on close to equally contributions of the plantation. The cone fertility variation (Ψ_c) could be also correlated with coefficient of variation in cone fertility (CV_c) as: $\Psi_c = CV_c^2 + 1$ (Kang and Lindgren, 1999; Bilir, 2011). The results were well accordance with parental-balance curve in the plantation was shown by means of cumulative gamete contribution in Figure 3.

Effective population size mirrored by effective number of parents (N_p) was 65.2 (87% of number of individuals). Genetic diversity (GD) of seeds have been correlated with effective number of parents (N_p) as (Kang and Lindgren, 1998): $GD = 1 - 0.5/N_p$. It indicated of number of observed trees. The surveyed plantation could be considered as a seed source depending on higher GD (0.992). However, my study was carried out by one-year data belong to limited number of trees of a plantation. So, future data collection in the same and other populations should be taken into consideration.

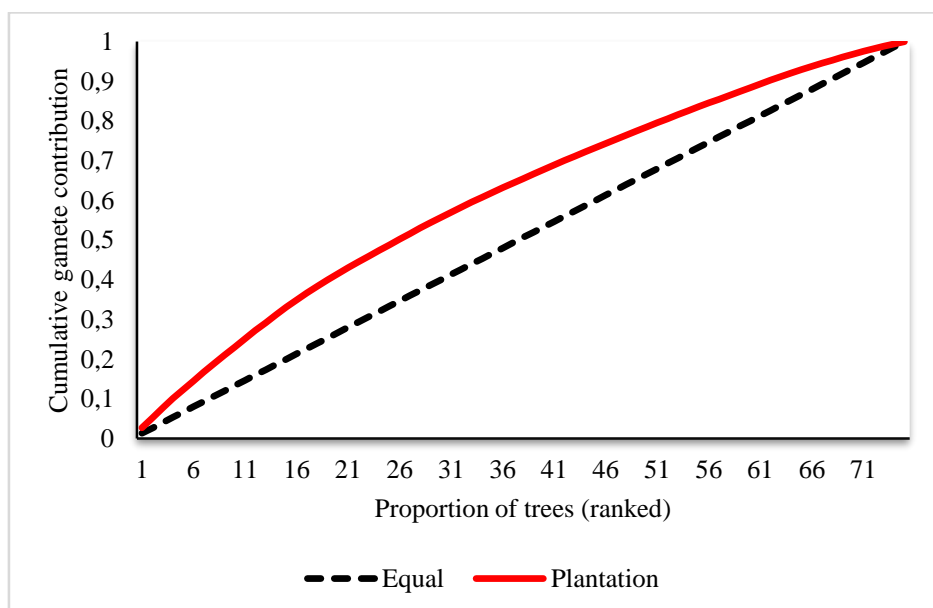


Figure 3. Parental-balance curves of the individuals.

3.2. Growth Traits

Averages, ranges and coefficient of variations of the growth traits were given in Table 1. As seen from the Table 1, the individuals showed large differences for growth traits. Means of growth traits were 8.9 m for tree height, 36.1 cm for diameter at base, and 27.3 cm for diameter at breast height in 27 years' plantation of Mediterranean cypress (Özbey, 2023). Özbey (2023) also reported high variation among individuals for the traits. Means were 5.1 m for tree height, 11.1 cm and 8 cm for diameters at breast height and at base in eleven years of the plantation (Bilir et al., 2017a). They were also reported large difference for morphology among seedlings (Uslu and Bilir, 2020), and growth traits among provenances and among individuals within provenance at field stage of the species (Sabuncu, 2004; Çalikoğlu et. al., 2010; Özbey et.al., 2024) or other forest tree species (i.e., Bilir et al., 2023b). The differences emphasized more importance of individual selection than mass selection for higher growth performances, and successful plantation, and other forestry practices. They could be also a reflector of high genetic diversity in *Cupressus sempervirens*. It indicated importance of selection practices in the species.

Table 1. Means, ranges and coefficient of variations (CV) for tree height (**H**), diameters at breast height (**d_{1.30}**), and at base (**D₀**) in the plantation

	H (m)	(D₀) (cm)	d_{1.30} (cm)
Mean	6.1	12.6	9.9
Ranges	5.1-7.5	6.8-19.8	5.4-17.2
CV%	8.84	24.8	29.8

3.3. Interactions of Cone Production and Growth Traits

Significant and positive correlations were found among the traits except of between H and d_{1.30} (Table 2). However, tree height was better predictor for cone production than diameters due to higher correlation coefficient and R² value.

Table 2. Correlations among the cone number (C_N), tree height (**H**), diameters at breast height (**d_{1.30}**), and at base (**D₀**).

<i>r</i>	C_N	H	d_{1.30}
H	.505** (R ² = 0.255)	-	
d_{1.30}	.382** (R ² = 0.146)	.224 ^{NS}	-
D₀	.383** (R ² = 0.147)	.271*	.957**

*, Correlation is significant at the 95% significance. **, Correlation is significant at the 99% significance. ^{NS}, Correlation is not significant.

Similar relations were also reported among growth traits in in 27 years' plantation of Mediterranean cypress (Özbey, 2023). The relations could be a guide for forestry practices. Correlations between reproductive and growth traits could change for various populations of tree species. For instance, while positive and significant correlations were reported among growth and reproductive characters in *Pinus sylvestris* L. (Burczyk and Chalupka, 1997; Bilir et al., 2006), in *Picea abies* (L.) Karst. (Nikkanen and Ruotsalainen, 2000), in *Cedrus libani* (Yazıcı and Bilir, 2017; Çatal et al., 2018), it was negative in *Pinus sylvestris* (Nikkanen and Velling, 1987) and in *Pinus taeda* L. (Schmidting, 1981). Height, diameter at breast height and crown diameter were positively significantly ($p \leq 0.05$) correlated by cone production in *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata* (Bilir et al., 2017b) and in *Pinus sylvestris* (Bilir et al., 2006). So, the results indicated that the relations could change for populations and species. The relations could be used in management practices of seed collection areas or other forestry purposes of *Cupressus sempervirens*.

4. Conclusions

One plantation and one-year data of the cone and growth data was examined in the present study. Cone production is a monitor of seed yield. Future studies in different natural and artificial populations, characteristics (e.g., seed production) and ages should be carried to give large conclusions. However, results of the study such as relations among the traits could be used local area of the species for various forestry practices.

References

1. Anşın R. & Özkan Z.C. (1993). Spermatophyta. Forestry Faculty of Black Sea Technical University Press, Trabzon.
2. Anonymous (2024). *Forestry Statistics of Türkiye*. General Directorate of Forestry, Ankara.
3. Bila A.D. (2000). *Fertility Variation and Its Effects on Gene Diversity in Forest Tree Populations*. [Doctoral dissertation, Swedish University]. Swedish University of Agricultural Science.
4. Bila A.D. & Lindgren D. (1998). Fertility variation in *Milletias thuhlmannii*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia bohemia* and *Leucaena leucocephala* and its effects on relatedness in seeds. *Forest Genetics*, 5, 119-129.
5. Bilir N. Kang K.S. & Lindgren D. (2005). Fertility variation in six populations of brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) over an altitudinal range. *Euphytica*, 141, 163-168.
6. Bilir N. Prescher F. Ayan S. & Lindgren D. (2006). Growth characters and number of strobili in clonal seed orchards of *Pinus sylvestris*. *Euphytica*, 152, 293-301.
7. Bilir N. (2011). Fertility variation in wild rose (*Rosa canina*) over habitat classes. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13, 110-114.
8. Bilir N. Çerçioğlu M. & Çetinkaya D. (2017a). Interaction between cone production and growth traits in a Mediterranean Cypress (*Cupressus sempervirens* L.) plantation. Seed Orchard Conference, September 4-6, p. 64, Balsta, Sweden.
9. Bilir N. Çatal Y. Tekocak S. & Çerçioğlu, M. (2017b). Fertility variation in endemic populations of Ehrami black pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*). *Journal of Forestry Research*, 28, 683-686.
10. Bilir N. & Kang K.S. (2021). Fertility variation, seed collection and gene diversity in natural stands of Taurus cedar (*Cedrus libani*). *European Journal of Forest Research*, 40, 199-208.
11. Bilir N. Jeon K. Kim Y.J. & Kang K.S. (2023). Fertility variation and effective population size across varying acorn yields in Turkey oak (*Quercus cerris* L.): Implications for seed source management. *Forests*, 14, 1-13.
12. Bilir N. Özel H.B. Öztürk YO. & Ertaş T.B. (2023). Growth variations in clonal seed orchards of Anatolian black pine. *Agriculture and Forestry*, 69(3), 97-104.
13. Bilir N. & Yazıcı N. (2024). Effects of climatic factors on strobilus production of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) populations. *Theoretical and Applied Climatology*, 155, 2151-2159.
14. Burczyk J. & Chalupka W. (1997). Flowering and cone production variability and its effect on parental balance in a Scots pine clonal seed orchard. *Ann. Sci. For.*, 54, 129-144.
15. Çalikoğlu M. Sabuncu R. Baş M.N. Coşgun S. Altun Z.G. & Çetinay Ş. (2010). *Mediterranean Cypress (Cupressus sempervirens L. var. horizontalis (Mill.) Gordon) Provenance-Progeny Trials (Results of 8th Age)*. Southwest Anatolia Forest Research Institute, Technical Bulletin, 36, Antalya.
16. Çatal Y. Bilir N. & Özel H.B. (2018). Effect of growth characteristics on cone and seed production in Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 3832-3836.
17. El-Kassaby Y. (1995). Evaluation of the tree-improvement delivery system: Factors affecting genetic potential. *Tree Physiology*, 15, 545-550.
18. Kang, K.S. (2001). *Genetic Gain and Gene Diversity of Seed Orchard Crops*. [Doctoral dissertation, Swedish University]. Swedish University of Agricultural Science.
19. Kang K.S. & Bilir N. (2021). *Seed Orchards (Establishment, Management and Genetics)*. OGEM-VAK Press.
20. Kang K.S. & Lindgren D. (1998). Fertility variation and its effect on the relatedness of seeds in *Pinus densiflora*, *Pinus thunbergii* and *Pinus koraiensis* clonal seed orchards. *Silvae Genetica*, 47, 196-201.
21. Kang K.S. & Lindgren D. (1999). Fertility variation among clones of Korean pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.) and its implications on seed orchard management. *Forest Genetics*, 6, 191-200.
22. Kang K.S. Bila A.D. Harju A.M. & Lindgren D. (2003). Estimation of fertility variation in forest tree populations. *Forestry*, 76, 329-344.
23. Kayacık H. (1966). Investigation on natural distribution of Mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens* L.) in Turkey. *Journal of the Faculty of Forestry University of İstanbul*, 16, 39-65.
24. Neyişçi T. (1996). Resistance to forest fire of plant species. *Journal of Turkish Forest Engineering*, 5, 6.
25. Nikkanen T. & Ruotsalainen S. (2000). Variation in flowering abundance and its impact on the genetic diversity of the seed crop in a Norway spruce seed orchard. *Silva Fennica*, 34, 205-222.
26. Özalp G. (1991). A new range of *Cupressus sempervirens* L. in Reşadiye peninsula. *Journal of the Faculty of Forestry University of İstanbul*, 41, 98-107.
27. Özbey Y. (2023). *Bazı Orman Ağacı Türlerinin Ağaçlandırma Sahalarında Büyüme Performansı*. Y. Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta.

28. Özbey A.A. Çalikoğlu M. Sabuncu R. & Altun Z.G. (2024). Genetic variation in provenance-progeny trials of *Cupressus sempervirens* in Türkiye. *South-east Eur. For.*, 15(1), 21-28.
29. Özçelik R. (2006). Monumental Mediterranean cypresses in Mersin-Aydıncık county (*Cupressus sempervirens* L. var. *horizontalis* (Mill.) Gord.). *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Suleyman Demirel University*, 10, 197-201.
30. Park J.M. Kwon S.H. Lee H.J. Na S.J. El-Kassaby Y.A. & Kang K.S. (2017). Integrating fecundity variation and genetic relatedness in estimating the gene diversity of seed crops: *Pinus koraiensis* seed orchard as an example. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(3), 366-370.
31. Prescher F. (2007). *Seed Orchards-Genetic Considerations on Function, Management and Seed Procurement*. [Doctoral dissertation, Swedish University]. Swedish University of Agricultural Science.
32. Sabuncu R. (2004). *Genetic Diversity in Mediterranean Cypress (Cupressus sempervirens L. var. horizontalis (Mill.) Gordon) Populations for Seedling Growth Characteristics*. Southwest Anatolia Forest Research Institute, Technical Bulletin 22, Antalya.
33. Schmidting R.C. (1981). The inheritance of precocity and its relationship with growth in loblolly pine. *Silvae Genetica*, 30, 188-192.
34. SPSS. (2011). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0.*, NY: IBM Corp.
35. Uslu M. & Bilir N. (2020). Morphological seedling characteristics in Mediterranean and Pyramidal cypresses. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 11(1), 12-21.
36. Varol T. Özel H.B. & Bilir N. (2017). Drought effects on reproductive and growth characteristics in seed orchards. *Pakistan Journal of Botany*, 49, 1225-1229.
37. Yazıcı, N. & Bilir, N. (2017). Aspectual fertility variation and its effect on gene diversity of seeds in natural stands of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *International Journal of Genomics*, 2017, 2960624.
38. Yazıcı N. & Bilir N. (2023). Impact of crown closure on cone production and effective number of parents in natural stands of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.). *Forests*, 14, 1130.
39. Yazıcı N. (2024). Impact of climatic characteristics on variation of fruit production in wild rose (*Rosa canina* L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 22(2), 1747-1759.

PROTECTION 500 (P 500) ÇELİĞİNİN KURU-KAYMA AŞINMA DAVRANIŞI

Yılmaz Küçük^{1*}, M. Sabri Gök¹

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın

Öz

Bu çalışmada, Protection 500 (P 500) çeliğinin iki farklı kayma hızında (4 ve 8 mm/s) ve üç farklı yük (10, 20 ve 30 N) altında kuru-kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Deneyler ball-on-disk aşınma aparatında ileri-geri hareket modunda gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında WC bilya kullanılmıştır. Test numunelerinin aşınma hacim kayıplarının hesaplanmasında 3D profilometre görüntüleri kullanılmıştır. Aşınma testleri sonrasında numune yüzeylerinde ortaya çıkan aşınma mekanizmaları SEM ve EDS analizleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda artan yüke ve kayma hızına bağlı olarak hacim kayıplarının arttığı ancak kayma hızının aşınma mekanizması üzerinde daha etkin bir parametre olduğu görülmüştür. Düşük kayma hızlarında oksidasyon ana aşınma mekanizması olurken yüksek kayma hızında oksidasyon, yorulma ve plastik deformasyon aşınma mekanizmaları görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Protection 500 çeliği, kuru kayma aşınması, kayma hızı

DRY-SLIDING WEAR BEHAVIOR OF PROTECTION 500 (P 500) STEEL

Extended Abstract

Protection 500 (P 500) is a ballistic penetration-resistant armor steel with high yield strength (1300 MPa) and tensile strength (1600 MPa) as well as high hardness (500 HBW). It is also preferred in parts exposed to high wear in service conditions, such as mining machines, crushers, excavators, dumper bodies, bulldozer blades, and chute-feeders. Since the loads and friction conditions to which the machine parts and components used in the mentioned harsh service conditions are exposed also vary considerably, evaluating the wear performance of these materials is also an important issue. In this study, the dry-sliding wear behavior of P 500 steel was investigated at two different sliding speeds (4 and 8 mm/s) and under three different loads (10, 20, and 30 N). The wear experiments were carried out in reciprocating mode on a ball-on-disc wear apparatus. The contact pair used a WC ball with a diameter of 6 mm and a hardness of 19 GPa as the abrasive counter body material. Thus, the aim was mainly to determine the wear characteristics of P 500 by limiting the surface mechanisms related to the wear of the abrasive part. 3D profilometer images were used to calculate the wear volume loss values of the test samples. The wear mechanisms occurring on the sample surfaces after the wear tests were evaluated using SEM and EDS analysis. As a result of the experimental studies, it was observed that the volume losses increased with increasing load and sliding speed. In addition, increased load and sliding speed resulted in a limited decrease in the CoF value. The main reason for this case is considered to be an increase in friction-induced heat and plastic deformation due to increasing load and sliding speed, resulting in a smoother worn surface. Besides, the sliding speed was detected as a significant parameter affecting the wear mechanism. While oxidation was the primary wear mechanism at low sliding speeds, oxidation, fatigue, and plastic deformation wear mechanisms were observed at high sliding speeds.

Keywords: Protection 500 steel, dry sliding wear, sliding speed

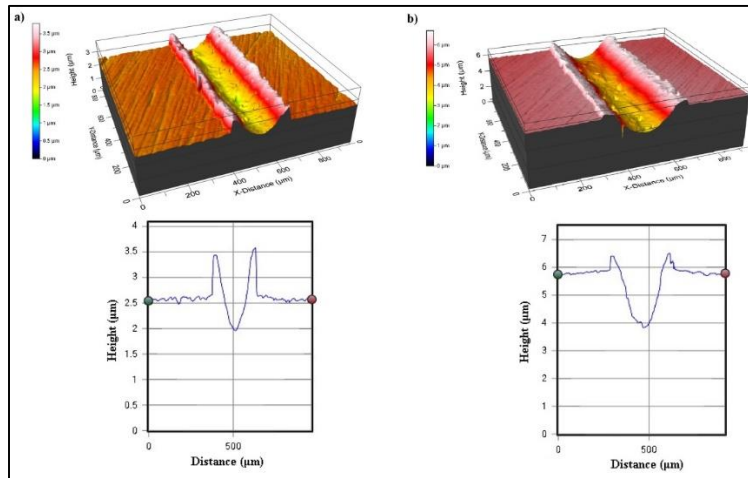
1. Giriş

Yüksek mekanik dayanıma sahip çelikler genellikle yüksek alaşımlı çelik sınıfındandır ve belirli uygulamalar için özel olarak imal edilmektedir (Ligier, Zemlik, Lemecha, Konat, & Napiórkowski, 2022). Kimyasal içeriklerinin yanı sıra bir dizi ısıl işlem sayesinde özel uygulamalar için ideal ürünler olarak piyasaya sürülmektedir. Yüksek dayanım, tokluk, sertlik gibi üstün mekanik özelliklere ek olarak yüksek korozyon ve aşınma direncine sahip çelik kalitelerine olan talep sürekliliğini korumaktadır (Küçük & Işık, 2023). Bu tür özelliklere sahip malzemelerden ilk akla gelenlerinden biri de zırh çelikleridir. Zırh çeliklerinin balistik performansına ilişkin araştırmalar devam etmektedir (Acar, Canpolat & Cora, 2024). Hafiflik ve balistik dayanımın birlikte talep edildiği araç zırhı uygulamaları için alüminyum ve titanyum alaşımları yaygın şekilde kullanılmaktadır (Hazell, 2015; Manes vd., 2014; Montgomery & Wells, 2001). Hafif alaşım ve özel olarak üretilen hibrit lamine kompozit zırhlarla birlikte tek veya katman malzemesi olarak yüksek mukavemetli çeliklerin temel zırh malzemesi olarak kullanımı önemini korumaktadır (Cheeseman & Bogetti, 2003; Küçük & Çelik, 2023). Düşük maliyet, kolay üretim ve tedarik, yüksek mukavemet ve süneklikle birlikte sertlik, çeliğin zırh uygulamalarında tercih edilen malzeme olmasının başlıca nedenleridir (Börvik, Dey & Clausen, 2009).

P 500, 500 HBW (Brinell Sertliği) nominal sertliğine göre adlandırılmış yüksek dirençli özel sınıf bir çeliktir. Zırh uygulamalarının yanı sıra aşınmaya, yıpranmaya ve mekanik strese karşı yüksek dirence ihtiyaç duyulan kırıcılar, kazıcılar, madencilik makinelerinin aşınma parçaları, damper gövdeleri, buldozer bıçağı, oluk-besleyiciler v.b. zorlu çalışma ortamlarındaki endüstriler için ideal bir malzemedir (URL-1, 2024). P 500 çeliğinin mekanik dayanımına ilişkin çalışmalar mevcuttur (Kharchenko vd., 2022). Ancak, aşınma davranışının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada aşınmaya maruz kalan zorlu çalışma şartlarında kullanılan P 500 çeliğinin kuru kayma aşınma davranışı incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

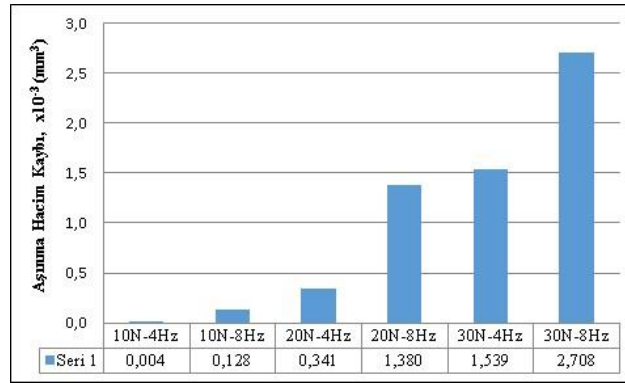
Bu çalışmada P 500 çeliğinin kuru-kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Temin edilen ve 300 x 300 mm boyutlarında olan çelik plaka 40 x 40 x 10 mm boyutlarında lazer kesim cihazı ile kesilerek boyutlandırılmıştır. Kesme işleminden sonra metalografik parlatma cihazı kullanılarak, numunenin yüzeyi 1200 mesh SiC zımpara ile parlatılarak aşındırma işlemine hazır hale getirilmiştir. Aşınma testleri 4 ve 8 mm/s kayma hızlarında ve 10, 20 ve 30 N'luk yükler altında ball-on-disk aşınma cihazında ve ileri-geri doğrusal hareket yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak sertliği 19 GPa olan 6 mm çapında WC bilya kullanılmıştır. Numunelerde meydana gelen hacim kayıplarının belirlenmesinde 3D profilometreden faydalanılmıştır. 6 mm boyunda oluşan izin 4 farklı bölgesinden alınan derinlik ölçümlerinin hacimsel hesabı yapılarak minimum hata olmasına dikkat edilmiştir. Ortalama iz kesit alanı ile ileri-geri kayma mesafesi çarpılarak aşınma hacim kaybı değerleri tespit edilmiştir. Şekil 1'de 20 N yük ve farklı kayma hızlarında numunelerden alınan 3B iz görüntüleri verilmiştir. Numune aşınma yüzey morfolojisinin belirlenmesinde, SEM görüntülerinden faydalanılmıştır.



Şekil 1. Farklı kayma hızlarında elde edilen aşınma iz profilleri (yük: 20N) a) 4 mm/s, b) 8 mm/s

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 2’deki grafikte numunelere ait üç farklı kayma hızında ve iki farklı yük altında ileri-geri doğrusal hareket yöntemi ile kuru-kayma aşınması yapılan numunelerin hacim kaybı değerleri verilmiştir. Yükün 10 N’dan 30 N’a çıkması numunelerde meydana gelen aşınma hacim kaybının sert şekilde artmasına neden olmuştur. Sıcaklık, yük ve hız gibi çalışma koşullarının metalik malzemelerin tribomekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu bildirilmiştir (Kanth, Rao & Krishna, 2019; Velavan, Palanikumar, Natarajan, & Lim, 2021; Kumar vd., 2020). Aşındırıcı bilyanın malzeme ile temasından sonra bir yüke maruz bırakıldığında aralarındaki maksimum basma gerilmesi bilyanın merkez noktasında meydana gelmektedir (Öge vd., 2023; Küçük vd., 2023a; Küçük vd., 2023b; Küçük, 2020a). Yükün artması ile hem aşınma çiftlerinin etkileşim noktalarında hem de yüzey altı bölgelerde normal ve teğetsel kesme gerilmeleri meydana gelecek ve bunun sonucunda da plastik deformasyon meydana gelecektir. Ayrıca, yüksek yükler altında aşınmaya maruz kalan malzemelerde oluşan adezyon etkisi soğuk kaynak oluşumunu tetikleyerek yüzeyden malzeme transferini hızlandıracaktır. Diğer bir mekanizma ise artan yüklerle birlikte kısa sürede yüzeyde oluşan oksit tabakası temas başlangıcından itibaren belli bir süre yük taşıyıcı bir bariyer olarak görev yaparken (Küçük, 2020b; Öge vd., 2019; Kucuk vd., 2018), bu tabakanın kırılması ile oluşan oksit atıklarının yüzeyde gösterdiği abrazyon etkisidir (Küçük & Öge, 2022). Bununla birlikte yük ve kayma hızının etkisine ek olarak ileri-geri sürtünme hareketi esnasında uygulanan tekrarlı yüklemelerle birlikte malzeme yüzeyinde çatlak oluşumu artarak kırılmalara sebebiyet verecektir (Wang vd., 2020; Zhang vd., 2019; Essa vd., 2021).

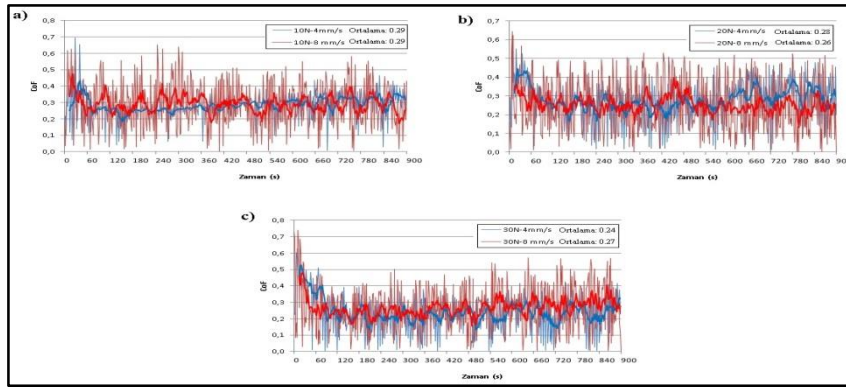


Şekil 2. P 500 çeliğinin değişen yük ve kayma hızlarına bağlı olarak ortaya çıkan aşınma hacim kaybı değerleri

Yine Şekil 2’de kayma hızının da hacim kaybında önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Düşük kayma hızlarında etkileşimli yüzeyler arasında oluşan sürtünme, temas yüzeyi sıcaklığının yükselmesine ve bunun sonucunda da yüzeyde oksit tabakası oluşumuna neden olmaktadır. Yüksek kayma hızlarında ise etkileşim halinde olan sürtünme yüzeyi yüksek gerinim oranına sahip şiddetli plastik deformasyona maruz kalarak indüklenen gerinim enerjisinden önemli miktarda ısı açığa çıkmasına neden olmaktadır (Wang vd., 2020). Oluşan bu ısı yüzeydeki oksit oluşum hızını arttıracak gibi bu oksitlerin parçalanmasına sebep olarak yüzeyde delaminasyon tipi aşınma oranını da arttırmıştır.

Delaminasyon teorisi ilk kez 1970 li yıllarda metallerin ve diğer katı malzemelerin aşınmasını açıklamak amaçlarıyla ortaya atılmıştır (Suh, 1973). Delaminasyon tipi aşınma bir dizi olaylar sonucunda aşınma partikülü oluşumunu açıklayan bir teoridir. Bu teoriye göre, sert pürüzlerin daha yumuşak yüzeye uyguladığı sürtünme kaynaklı gerilmeler, plastik kayma deformasyonuna neden olur ve tekrarlanan yüklerle yoğunlaşır. Etkileşime bağlı olarak yüzeyaltı deformasyonu devam ettikçe yüzey altında çatlaklar başlar. Ancak yüzeye çok yakın çatlak çekirdeklenmesi, yüzeyin hemen altında bulunan üç eksenli yüksek sıkıştırma gerilim bölgeleri oluşturduğu için tercih edilmez. Çatlaklar bir kez oluştuğunda (çatlak çekirdeklenmesi nedeniyle, veya önceden var olan boşluklara) daha fazla yüklemeye ve deformasyon ile birlikte genişler ve komşu çatlaklarla birleşerek yayılır. Oluşan bu çatlaklar malzeme özellikleri ve sürtünme katsayısı tarafından yönetilen bir derinlikte yüzeye paralel olarak ilerleyerek artar. Bu çatlaklar sonunda yüzeye doğru yöneldiğinde uzun ve ince aşınma tabakaları halinde koparak “delaminasyon” tipi aşınma ortaya çıkmaktadır (Suh, 1977). Kayma hızına bağlı diğer bir yaklaşım etkileşimli yüzeylerden aşındırıcı bilya kayma hızının artması ile bilyanın bir noktadan geçiş süresi daha kısa periyotlar arasında gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak parlama sıcaklığı veya flaş sıcaklık olarak ifade ettiğimiz ani sıcaklık yükselmeleri ve bu sıcaklığın yüzeyden iletimi daha uzun sürecektir. Bu durum ise plastik akışın daha kolay olmasında sebebiyet verecektir (Gök vd., 2023; Günen vd., 2015; Kucuk, 2012).

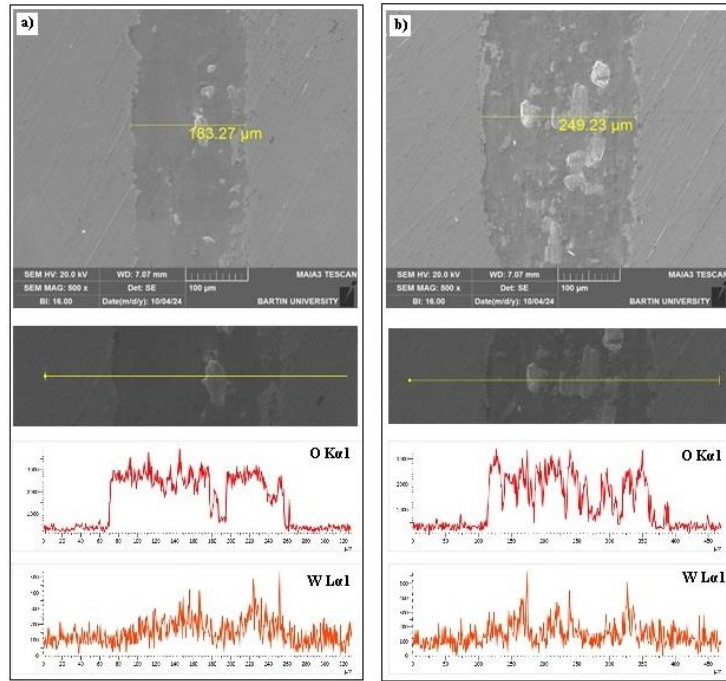
Şekil 3(a-c)'de farklı yük ve kayma hızlarında numunelere ait sürtünme katsayısı (CoF) değerleri verilmiştir. Şekil 3a'da 10 N luk yük altında iki farklı kayma hızında elde edilen değerler incelendiğinde ortalama CoF değerinin iki kayma hızı içinde 0.29 olduğu görülmektedir. Ancak 4 mm/s kayma hızında elde edilen grafik görüntüsü incelendiğinde zamana bağlı olarak pik ve vadi arası mesafelerin daha kısa olduğu dolayısıyla daha pürüzsüz bir yapıda aşınmanın gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu durumun daha iyi anlaşılması için Şekil 4(a-b)'de verilen numunelerin SEM aşınma izi fotoğrafları incelenecek olursa iki kayma hızı arasında numune yüzeyinde oluşan hasar mekanizması da açıkça görülebilmektedir. Şekil 4b'de aşınma izi üzerinde genişliği 20µm ile 40 µm arasında olan ve yüzeyden adezyon etkisi ile kopmuş aşınma atıklarının meydana getirdiği boşluklar görülmektedir. Bu boşluklar CoF değerinin yüksek kayma hızında daha pik genliklerinin fazla olmasının sebebidir. Yükün 20 N çıkması her iki CoF değerinde çok çok az olsa da bir düşmenin olduğu görülmüştür (Şekil 3b). Benzer durumun 30 N'luk yük altında da görüldüğünü söylemek mümkündür (Şekil 3c). Burada dikkat çeken durum artan kayma hızının vadi ve pikler arasındaki genliği arttırmış olmasıdır. Bunun en önemli nedeninin yüzeyde yüksek kayma hızının oluşturduğu pürüzlü tabaka olduğunu söylemek mümkündür. Ancak 20 N yükü birlikte düşük kayma hızlarında da bu genlik artmıştır.



Şekil 3. P 500 çeliğinin farklı yük ve farklı kayma hızlarındaki CoF değerleri

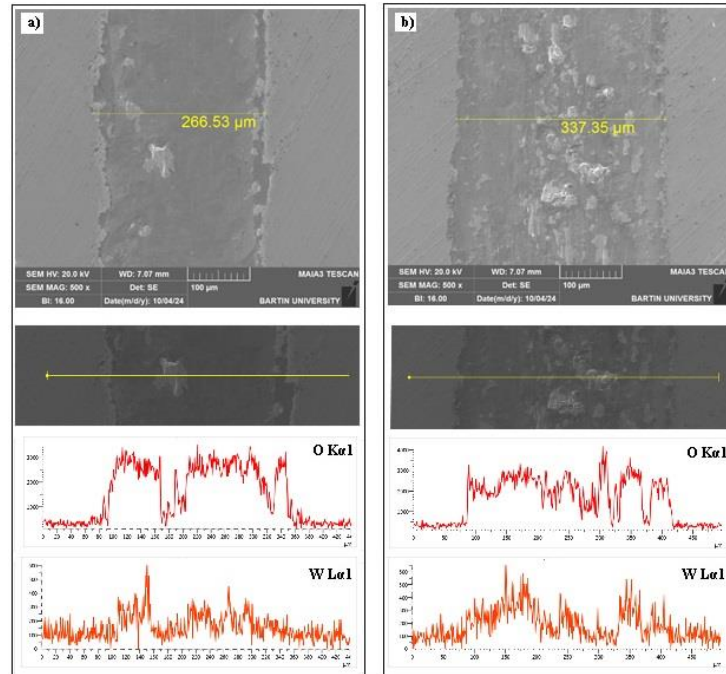
Şekil 4(a-b)'de 10 N luk yük altında ve farklı kayma hızlarında aşındırma işlemine tabi tutulan numunelerin SEM aşınma izi fotoğrafları verilmiştir. Şekil 4a'da verilen EDS analizinde de açıkça görüldüğü gibi 4 mm/s kayma hızında yapılan aşındırma işleminde aşınma iz genişliğinin 183 µm olduğu aşınma mekanizmasının ise oksidasyon olduğu görülmektedir.

Kayma hızının artması (8 mm/s) ile aşınma izinin genişlediği, yüzeyde oksidasyon oluşumunun ana aşınma mekanizmasını oluşturduğu ve ayrıca yorulmaya bağlı plastik deformasyon mekanizmasının da gerçekleştiği görülmektedir. Kayma hızının artması ile birim zamanda bilyanın aynı noktadan geçme periyodu kısılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde meydana gelen sürtünme ısı daha yüksek olup şiddetli oksit oluşumuna sebebiyet verecektir. Tekrarlı yükler altında kırılan bu oksitler ise yüzeyde aşınmaya neden olmuştur. Bununla birlikte yapılan EDS çizgi analizinde görüldüğü üzere, aşınmış iz yüzeyinde aşındırıcı bilyadan kopan sınırlı oranda partikülün de (W varlığı) mevcut olduğu görülmüştür.



Şekil 4. 10 N luk yük altında aşınmış yüzeylerin SEM ve EDS çizgi analizi görüntüleri a) 4 mm/s b) 8 mm/s

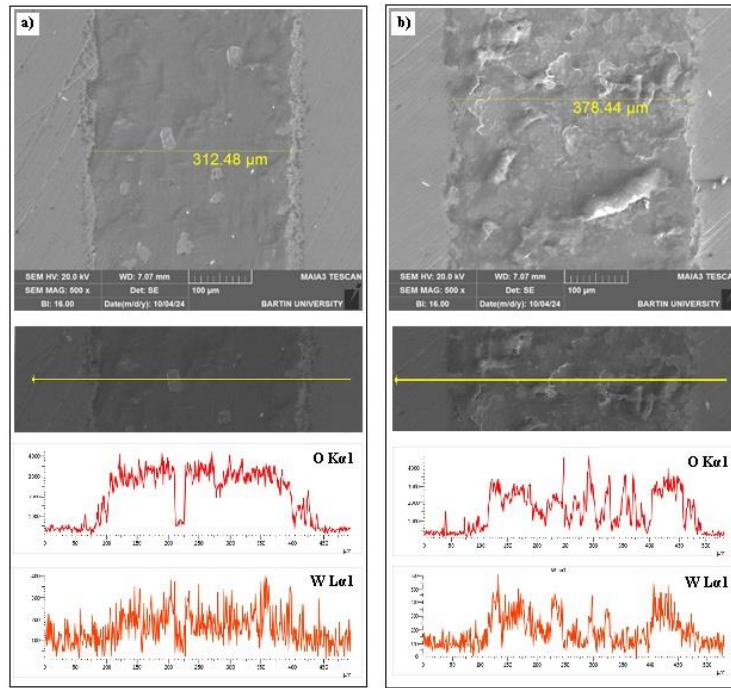
Şekil 5(a-b)'de ise 20 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin SEM aşınma izi fotoğrafları verilmiştir. Bir önceki yani 10 N luk yük altında ve 4 mm/s kayma hızında test edilen numune ile kıyaslandığında benzer bir aşınma mekanizması sergilemiştir. Sadece iz genişliği daha fazla olmuştur. Benzer şekilde artan kayma hızı ile numunede hacim kaybı artmış ve yüzeyde yorulma ile oksit tabakasının parçalanarak oluşturduğu plastik deformasyona bağlı bir aşınma mekanizması oluşmuştur.



Şekil 5. 20 N luk yük altında aşınmış yüzeylerin SEM ve EDS çizgi analizi görüntüleri a) 4 mm/s b) 8 mm/s

Son olarak Şekil 6(a-b)'de ise 30 N luk yük altında aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin SEM aşınma izi fotoğrafları verilmiştir. Artan yük ve kayma hızının bu numunelere de benzer şekilde etkisi olmuştur. Ancak numunenin aşınma mekanizmasında kayma hızının yükten daha fazla etkili olduğu görülmektedir. Düşük kayma

hızında tam bir oksidasyon ve yerel pullanma şeklinde dökülmeler olurken yüksek hızda oksidasyon yorulma ve pullanma aşınma mekanizmaları görülmüştür.



Şekil 6. 30 N luk yük altında aşınmış yüzeylerin SEM ve EDS çizgi analizi görüntüleri a) 4 mm/s b) 8 mm/s

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Protection 500 çeliğinin üç farklı yük altında ve iki farklı kayma hızında kuru-kayma aşınma davranışı incelenerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Artan yük ve kayma hızı ile orantılı olarak aşınma hacim kaybı değerleri de artmıştır. Özellikle 20N yükte kayma hızının 4 mm/s den 8 mm/s ye çıkmasıyla aşınma hacim kaybı yaklaşık 4 kat artmıştır. 30 N yük altındaki benzer artış ise daha sınırlıdır.
2. Yük ve kayma hızındaki değişimin CoF değerinde önemli bir fark oluşturmadığı tespit edilmiştir. Tüm yüklerde tespit edilen sürtünme katsayısı değerleri ortalama 0.24 - 0.29 aralığındadır ve deney süresince önemli sapma ve dalgalanma meydana gelmemiştir.
3. Düşük kayma hızında numune yüzeylerinin tamamen oksit tabakası ile kaplandığı görülmüş, yüzeyde bölgesel pullanma şeklinde dökülmeler gözlenmiştir. Artan yük ile birlikte pullanma artmıştır.
4. Yüksek kayma hızında numune yüzeyinde oksidasyon tipi aşınma mekanizması ile yorulma, delaminasyon, pullanma tipi aşınma mekanizmaları görülmüştür. Yüksek kayma hızı temas yüzeyindeki hem anlık yüzey sıcaklığının artmasına bağlı oksidasyon artışını desteklemekte, hem de deformasyon hızına bağlı yorulma kaynaklı dökülme ve delaminasyonu artırıcı etki ettiği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

1. Acar, D., Canpolat, B.H. & Cora, Ö.N. (2024). Ballistic performances of Ramor 500, ArmoX Advance and Hardox 450 steels under monolithic, double-layered, and perforated conditions. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 51, 101653.
2. Børvik, T., Dey, S. & Clausen, A.H. (2009). Perforation resistance of five different high strength steel plates subjected to small-arms projectiles. *Int. J. Impact Eng.* 36, 948–964.
3. Cheeseman, B.A. & Bogetti, T.A. (2003). Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates, *Composite Structures*, 61 (1–2), 161-173.

4. Essa, F.A., Elsheikh, A.H., Yu, J., Elkady, O.A. & Saleh, B. (2021). Studies on the effect of applied load, sliding speed and temperature on the wear behavior of M50 steel reinforced with Al₂O₃ and / or graphene nanoparticles. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 283-303.
5. Gök, M., Küçük, Y., Pehlivanlı, M. & Erdoğan, A. (2023). Investigation of Dry Sliding Wear Behavior of CFRP Composite Used in New Generation Aircraft Wings. *Journal of Aviation*, 7(2), 190-195.
6. Günen, A., Küçük, Y., Er, Y., Çay, V.V., Öge, M. & Gök, M. (2015). Effect of the powder particle size on the wear behavior of boronized AISI 304 stainless steel. *Materials Testing*, 57(5), 468-473.
7. Hazell, P.J. (2015). *Armour: Materials, Theory, and Design*, CRC Press.
8. Kanth, U.R., Rao, P.S. & Krishna, M.G. (2019). Mechanical behaviour of fly ash/SiC particles reinforced Al-Zn alloy-based metal matrix composites fabricated by stir casting method. *J. Mater. Res. Technol.* 8, 737-744.
9. Kharchenko, V., Katok, O., Sereda, A., Rudnitskyi, M., Kravchuk, R. & Bisyk, S. (2022). Determination of strength characteristics of high-strength sheet steels by hardness and instrumented indentation. 1st Virtual International Conference "In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction", *Procedia Structural Integrity*, 36, 277-283.
10. Kucuk, Y. (2012). Investigation of Abrasiveness Property of Blast Furnace Slag on Ceramic Coatings via the Abrasive Slurry Wear Method. *Tribology Transactions*, 55(6), 762-771.
11. Kucuk, Y., Oge, M., Gok, M. & Karaoglanli, A. (2018). Ferrochromium slag as a protective coating material against oxidation for caster rolls. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 15(5), 1240-1247.
12. Kumar, J., Singh, D., Kalsi, N.S., Sharma, S., Pruncu, C.I., Pimenov, D.Y., Rao, K.V. & Kaplonek, W. (2020). Comparative study on the mechanical, tribological, morphological and structural properties of vortex casting processed, Al-SiC-Cr hybrid metal matrix composites for high strength wear-resistant applications: fabrication and characterizations. *J Mater Res Technol.* 9(6), 13607-13615.
13. Küçük, Y. & Işık, E.A. (2023). AISI 304 paslanmaz sac malzeme bükme işlemi için k-faktörünün belirlenmesi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 6 (2), 177-188.
14. Küçük, Y. & Çelik, B.K. (2023). Kompozit zırh tasarımı ve balistik direncinin incelenmesi. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 6 (1), 12-20.
15. Küçük, Y., Erdoğan, A., Kurşuncu, B. & Gök, M.S. (2023a). Effects of surface roughness and counter body variables on the dry sliding wear behavior of AISI 4140 steel based on the elastoplastic flattening model. *Surf. Topogr.: Metrol. Prop.* 11(2), 025002.
16. Küçük, Y., Altaş, E. & Topcu, M.E. (2023b). A comparative analysis of the effect of laser surface treatment on the dry sliding wear behavior of ductile cast irons with different microstructures. *Optik*, 274, 170540.
17. Küçük, Y. & Öge, M. (2022). Elevated Temperature Wear Behavior of FeCr Slag Coating as an Alternative Coating Material for Caster Rolls. *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 58, 119-128.
18. Küçük, Y. (2020a). Effect of counter body on wear behavior of plasma-sprayed TiO₂-45Cr₂O₃ coating. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 9(1), 237-252.
19. Küçük, Y. (2020b). Effect of counterbody on the dry sliding wear performance of plasma sprayed calcia-stabilized zirconia coating. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 92, 105284.
20. Ligier, K., Zemlik, M., Lemecha, M., Konat, L. & Napiórkowski, J. (2022). Analysis of Wear Properties of Hardox Steels in Different Soil Conditions. *Materials*, 15, 7622.
21. Manes, A., Serpellini, F., Pagani, M., Saponara & Giglio, M. (2014). Perforation and penetration of aluminium target plates by armour piercing bullets. *Int. J. Impact Eng.* 69, 39-54
22. Montgomery, J.S. & Wells, M.G.H. (2001). Titanium armor applications in combat vehicles, *J. Mater. Met. Mater. Soc.* 53, 29-32.
23. URL-1, 2024. www.miilux.com.tr
24. Öge, M., Kucuk, Y., Gok, M. & Karaoglanli, A. (2019). Comparison of dry sliding wear behavior of plasma sprayed FeCr slag coating with Cr₂O₃ and Al₂O₃-13TiO₂ coatings. *Int. J. of Applied Ceramic Techn.*, 16(6), 2283-2298.
25. Öge, M., Küçük, Y., Öge, T., Günen, A., Kanca, Y. & Gök, M. (2023). Effect of boriding on high temperature tribological behavior of CoCrMo alloy. *Tribology International*, 187, 108697.
26. Suh, N.P. (1973). The delamination theory of wear, *Wear*, 25 (1), 111-124.
27. Suh, N.P. (1977). An overview of the delamination theory of wear, *Wear*, 44 (1), 1-16.
28. Velavan K., Palanikumar K., Natarajan E. & Lim W.H. (2021). Implications on the influence of mica on the mechanical properties of cast hybrid (Al+10%B₄C+Mica) metal matrix composite. *J. Mater. Res. Technol.* 10, 99-109.

- 29. Wang, C., Zhang, C., Gu, L., Bi, M., Hou, P., Zheng, D. & Wang, L. (2020).** Analysis on surface damage of M50 steel at impact-sliding contacts. *Tribol Int.*, 150, 106384.
- 30. Zhang, C., Peng, B., Wang, L., Ma, X. & Gu, L. (2019).** Thermal-induced surface damage of M50 steel at rolling-sliding contacts. *Wear*, 420-421, 116-122.

BÖCEK KOLLEKSİYONLARINI UZUN SÜRE SAKLAMAMANIN FARKLI BİR YOLU: EPOKSİ REÇİNE

Azize Toper Kaygın^{1*}, Alper Turan¹, Mehmet Caner Koca¹, Seval Akgün¹
Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bartın

Öz

Bilimsel, akademik ve eğitim amaçlı toplanan böcek örneklerinin yıllarca bozulmadan dayanması ve sürekli kullanımının mümkün olması arzu edilir. Örneklerin muhafazası için geliştirilen, geleneksel hale gelmiş alkolde saklama ya da preparasyonu yapıp böcek saklama kutularında muhafaza etme gibi yöntemlerde, muhafaza süreçlerinde aksaklık yaşanması dokularda bozulmaya sebep olmaktadır. Ayrıca bu yöntemler örneklerin kolay kullanımını da zorlaştırmaktadır. En hafif darbeye bile bu küçük yapıları böceklerin vücut parçaları kopabilmekte ya da kırılabilmektedir. Örneklerin zarar görmesi koleksiyonun bozulmasına sebep olmakta, bazı durumlarda yegâne örnek olarak saklanan numunelerde kayıplar yaşanmaktadır. Böcek örneklerinin bu yöntemle uzun yıllar boyunca epoksi reçine içinde muhafaza edilmesi ve örneğe zarar vermeden farklı amaçlar için kolay kullanımı mümkün olmaktadır. Bu çalışma epoksi reçine ile sertleştirici kimyasalın belirli oranda karıştırılması, preparasyonu yapıp kurutulmuş böcek örnekleriyle birlikte silikon kalıplar içine tekniğine uygun olarak yerleştirilmesi, kurutulması, parlatılmasına dair süreçleri içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Epoksi reçine, böcek örnekleri, koruma, hasarsız kullanım, koleksiyon yöntemi

A DIFFERENT WAY TO PRESERVE INSECT COLLECTIONS FOR A LONG TIME: EPOXY RESIN

Extended Abstract

Insects, valued for their delicate structures, small sizes, and often colorful, patterned appearances, are preserved in collection boxes, laboratories, and museums for educational, scientific, and aesthetic purposes. Preserving insects in alcohol, pinning them directly, drying them for storage in preservation boxes, or mounting very small species on microscope slides are considered traditional methods. However, all these methods can encounter certain issues over time. The progressive evaporation of alcohol can lead to the deterioration of specimens, those preserved in alcohol are susceptible to damage from vibrations and light; while dried specimens can be adversely affected by moisture, mold fungi, and necrophagous insects. Therefore, insect samples should be stored in a moisture-free environment using chemicals such as naphthalene, glo, and similar substances. Since these chemicals are volatile, they need to be frequently checked and replenished as necessary to prevent depletion. Moreover, these methods significantly hinder the ease of handling specimens. Even the slightest impact can cause the fragile body parts of these small insects to detach or break. The damage to insect specimens compromises the integrity of the collection and, in some cases, results in the loss of unique specimens preserved as singular examples. For this reason, epoxy resin has been considered for use in insect preparation to ensure the long-term preservation, damage-free utilization, and durability of insect specimens over the years. In Türkiye, similar studies have previously been conducted using transparent polyester resin (Acatay, 1971) and Dewester polyester (Göktürk & Aksu, 2010). The findings from these studies have been utilized to evaluate and discuss the use of epoxy resin in this article.

Specimens of insects and their body parts, which are collected with significant effort and time and constitute an essential component of biodiversity, can be utilized without damage, hesitation, or concern in educational activities, scientific research, or exhibitions through this method. Since they are not affected by light, heat, moisture, mold fungi, or necrophagous insects, no additional expenses are required for the preservation of the specimens. There is no need to collect an additional number of insect specimens for the collection. The specimens can be utilized for various purposes without causing any damage, ensuring ease of use. This study provides information on the process of preserving insects in epoxy resin. After the insects are killed, they

undergo preparation techniques, and a drying phase to make them ready for placement into the epoxy resin. Once the appropriate mixture of epoxy and hardener chemicals is prepared, the insect specimens must be placed into molds following the proper technique, then cured and polished.

Key Words: Epoxy resin, insect specimens, preservation, damage-free utilization, collection method

1. Giriş

Dünyada bulunan canlıların tür sayısını net olarak açıklamak mümkün olmasa da canlı türü sayısının 8.7 milyon (Mora vd., 2011), böcek tür sayısının ise 5.5 milyon olduğu tahmin edilmektedir. Bunun beşte birinin tanımlandığı bildirilmekle birlikte sanayi çağına girilmesinden bu yana %5-10 arasında böcek türünün neslinin tükendiği değerlendirilmektedir (Cardoso vd., 2020). Günümüzde henüz keşfedilmemiş, teşhisi yapılmamış türler bulunmaktadır. Birçok türün nesli tükenmiş ya da tehdit altındadır. Bu nedenle mevcut türlerin tanımlanması ve teşhisine yönelik çalışmaların tamamlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca bu türlerin korunması biyolojik çeşitlilik ve biyolojik çeşitliliğin sürekliliği açısından önem taşımaktadır.

Böcekler narin yapılı, küçük, pek çoğu renkli ve desenli olmaları nedeniyle gerek bilimsel çalışmalar için gerekse de estetik değerleri nedeniyle koleksiyon amaçlı olarak laboratuvarlarda, müzelerde saklanmaktadır. Böceklerin alkol içinde tutulması ya da şekil verilip iğnelenerek kurutulması ve saklama kutularında muhafaza edilmesi geleneksel hale gelmiş saklama yöntemleridir. Ancak her iki yöntemde de uzun süreli muhafaza ve kullanımlarda bazı sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunlar dikkate alınarak zaman zaman farklı yöntemlerin kullanılması yoluna gidilmiştir. Bunlardan biri reçine içinde muhafaza tekniğidir. Acatay (1971), saydam poliestere reçine içinde böceklerin yerleştirilerek muhafazasına dair detaylı açıklamalarda bulunmuştur. Bu yöntemde reçinenin çatlamalar olmaması için tekniğine uygun olarak hazırlanması gerektiğinden bahsetmiştir. Ayrıca reçine içine yerleştirilmeden önce böceğin hazır hale getirilmesi aşamalarını detaylıca açıklayarak bu çalışmaların dikkat ve özen gerektirdiğini belirtmiştir. Böceğin bozulmadan reçine içine üç aşamalı olarak itinalı bir şekilde yerleştirilmesini tavsiye etmiştir. Bu sürecin, yapılan açıklamalara göre yaklaşık bir haftada tamamlanabildiği anlaşılmaktadır.

Göktürk & Aksu (2010), Artvin'deki orman alanlarından ve çayırlıklardan topladıkları böceklerden Dewester Polyester kullanarak teşhir amaçlı cam görünümlü pano oluşturmuşlardır. Bu çalışmanın 6-7 gün sürdüğü belirtilmiştir.

Epoksi reçineden küçük böceklerin ve diğer eklembacaklıların dokularından alınan ince kesitlerin anatomik incelemesinde de faydalanılmaktadır. Bunun için kesitler asitlendirilmiş 2,2-dimetoksiopropan ile dehidre edilmekte ve vakum altında ERL 4206 epoksi reçinesine gömülmekte ve reçinenin dokulara iyice nüfuz etmesi sağlanmaktadır. Böylece numunenin ve kırılğan anatomik yapılarının genel olarak mükemmel şekilde muhafazası mümkün olmaktadır. Bununla birlikte zamandan tasarruf sağlanmakta ve elmas bıçaklarla arthropod materyalini keserken kusursuz sonuçlar alınmaktadır (Pernstich vd., 2003).

Miyan & Khan (2021) ise plastik içine gömme tekniğini kullanarak çeşitli balık kemikleri, böcek nimfleri ve böcek bacaklarını epoksi içinde muhafaza etmek istemişlerdir. Bu yöntemde böcek numuneleri kurutulup doğal yağların uzaklaştırılması için %10'luk asetona tabi tutulmaktadır. Balık kemikleri ise havayla kurutulmakta, sonra 37°C'deki termostatta bırakılarak kemikler içinde kalan su içeriği çıkarılmaktadır. Ardından temizlenip epoksi reçine içerisine gömülmektedir. Bunun için 100 ml epoksi reçine içine 10 ml katalizör eklenmektedir. Katalizörün eşit dağılımının gerçekleşmesi için katalizör reçine ile iyice karıştırılarak kalıbın tabanına bir tabaka oluşturacak şekilde çözelti dökülmekte ve tozlanmaması için üstü kapalı bir şekilde sertleşmesi beklenmektedir. 25°C'de yaklaşık 1 saat sonra, sert jöle benzeri bir kıvama ulaştığında numune taban katmanına yerleştirilmekte; yeniden reçine karışımı hazırlanarak numunenin üzerine, etrafına dökülmektedir. Numunelerin tamamen kuruması için 5-7 gün beklenmektedir. Pürüzler zımpara ile temizlenerek, cilalanınca epoksi içindeki böceklerin ve böcek parçalarının yapısal ayrıntıları net bir şekilde görülebilmektedir. Bu tekniğin müzedeki fosillerin ve biyolojik örneklerin nitelikleri bozulmadan uzun yıllar iyi bir şekilde korunmasında faydalı olacağı ifade edilmektedir.

Artropodların neden olduğu hastalık ve ölümler, insan ve hayvan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bejcek vd. (2018) vektör kaynaklı hastalıkların ve yaralanmaların azaltılmasında, medikal öneme sahip artropodların doğru tanımlanmasının, halkı bu hastalıklar konusunda bilinçlendirmenin ve yeni nesil medikal

entomologları yetiştirmenin önemine vurgu yapmışlardır. Öğrenci eğitiminin ve halka ulaşmanın zorluklarından biri, morfolojik özelliklerin gözlemlenmesine olanak tanıyan ve örnekleri hasara uğratmayan güvenli bir montaj tekniğinin elde edilmesidir. Eğitim ve halkla iletişim etkinliklerinde kullanılmak üzere, ekonomik ve yüksek kaliteli reçine içine gömülü artropod örnekleri oluşturmak için kolayca temin edilebilen malzeme ve ekipmanlarla ayrıntılı bir protokol geliştirilmiştir. Bu yöntemle, 5-6 adet reçine içine gömülü triatomine böceği hazırlanabilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan Epoksi ise ekzotermik bir reaksiyondan sonra sertleşen, uzun ömürlü, rijit yapıda, yüksek sıcaklıklarda mekanik yapısını koruyabilen, organik solvent ve kimyasal maddelere dirençli, kullanıldığı yüzeylerde sağlam adhezyon yapabilen bir maddedir. Bu maddeler uzun vadede bozulma ya da aşınma sorunu yaşamazlar (URL 1, 2024). Epoksi reçineler bu üstün özellikleri nedeniyle yapıştırıcı olarak kullanıldığı gibi elektrik ve elektronik malzemelerde, fiber içerikli kompozit malzemelerde, boya ve kaplamalarda, inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Ayrıca bir savaş uçağının parçalarının ya da rüzgâr türbininin pervanesinin üretiminde de tercih edilebilmektedir.

Epoksi reçinelerin 1909'da Rus kimyager N. A. Prileschajew tarafından keşfedildiği kabul edilmektedir. Ticari anlamda ise ilk epoksi reçineler 1930'lu yıllarda birbirinden bağımsız çalışan iki bilim insanı (İsviçreli Dr. P. Castan ile Amerika Birleşik Devletleri'nden Dr. S. O. Greenlee) tarafından keşfedildi (Baydemir, 2020; URL-2, 2024). 1950'li yılların başında Avustralya'da ticari olarak temin edilebilir hale geldiğinden beri birçok farklı endüstri alanında kullanılmaktadır (URL-3, 2024).

Kürlenmiş epoksi reçineler, profesyonel bir şekilde kullanıldığında ve gerekli güvenlik önlemlerine uyulduğunda insan sağlığı açısından herhangi bir risk taşımamaktadır. Bir epoksi reçine ve bir sertleştiriciden ibaret olan iki bileşenli malzeme olarak küçük miktarlarda satıldığında, epoksilerin kullanılmasının riski, bu bileşenlerin karıştırılması sırasında cilt teması nedeniyle ortaya çıkabilmektedir. Satılan her ürünle birlikte mutlaka malzeme güvenlik bilgi formu olmalı, içeriğinde gerekli güvenlik bilgileri mevcut olmalıdır. Bu önlemler alındığında epoksi güvenlidir (URL-2, 2024).

Bilimsel, akademik ve eğitim amaçlı toplanan böcek örneklerinin yıllarca bozulmadan dayanması ve sürekli kullanımının mümkün olması istenir. Bu amaçla geliştirilen, geleneksel hale gelmiş alkolde saklama ya da preparasyonunu yapıp iğneleyerek böcek saklama kutularında muhafaza etme gibi yöntemlerde, muhafaza süreçlerinde aksaklık yaşanması dokularda bozulmaya sebep olmaktadır. Emek ve zaman harcanarak toplanan, üstelik biyolojik çeşitliliğin önemli bir parçası olan böcek örneklerinin korunması ve eğitimlerde, sunumlarda veya sergilerde çekinmeden, endişe duyulmadan kullanılabilmesi düşüncesi ile 2020-2021 yılları arasında bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Böcek numunelerinin kalıba alınarak bozulmadan yıllarca muhafazası, zarar görmeden kullanımı ve uzun ömürlülüğünün sağlanması için böcek preparasyonunda epoksi reçine kullanılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmanın ana materyali epoksi reçine içinde muhafaza edilmek üzere hazırlanmış böcek örnekleri ile epoksi reçineyi hazırlamakta kullanılan reçine ve reçine ile etkileşime giren sertleştirici maddedir. Piyasada ultra şeffaf epoksi reçine seti olarak satılmaktadır. Ayrıca çeşitli ebatlarda silikon kalıplar, silikon beher, maske, tahta çubuk, hassas terazi, suya dayanıklı zımpara kâğıdı (800-1000-1500-2000 numaralı zımpara seti), pürmüz ve eldiven kullanılmıştır.

Öncelikle böcek örneklerini temin etmek ve işleme hazır hale getirmek için arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Arazide böcek yakalama, böcek öldürme; laboratuvarında böceklerin preparasyonu, ölmüş böcekler şekil verme ve iğneleme teknikleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Böcek numuneleri Bartın Üniversitesi kampüs alanından atraplarla ve elle toplanmıştır. Bu tekniklere dair bilgiler için Çanakçıoğlu (1993), Çanakçıoğlu & Mol (1998)'un kaynak kitaplarından faydalanılmıştır. Akabinde epoksi reçine içine böcek örneklerinin yerleştirilme sürecine geçilmiştir. Bu kapsamda daha önce yapılmış benzer çalışmalar olan Acatay (1971), Göktürk & Aksu (2010) ile internet kaynaklarından (URL 1, URL 2) yararlanılmıştır.



Şekil 1. Böceklerin preparasyonu ve iğnelenmesi

Epoksi ile sertleştirici kimyasalın karışımı sağlandıktan sonra farklı kalıplar içine böcek örneklerinin tekniğine uygun olarak yerleştirilmesi, kurutulması, parlatılması ve etiketlenmesine dair süreçler takip edilmiştir.

2.1. Epoksinin Karışım Oranı ve Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Epoksi maddesinin hazırlanmasında karışım oranları ve bu karışım yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar bulunmaktadır. Karışım, reçine ve reçine ile etkileşime giren sertleştirici maddeden oluşmaktadır. Bu karışımda 2:1 oranı kullanılmaktadır yani ana madde olan reçine 50 gr kullanılıyorsa yardımcı madde olan sertleştirici 25 gr olmalıdır. Bununla beraber kullanılan epoksinin de çeşitleri bulunmaktadır. Örneğin; kullanılacak reçine Resinin Mass ise oran 2,5:1 olmaktadır. Epoksi türüne göre karışım oranına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada 2:1 oranı uygulanmıştır.

Epoksi reçinenin kullanım aşamasında dikkat edilmesi gereken husus ise; karışımın homojen bir şekilde olmasıdır. İyi karışmamış bir epoksi reçineden kaliteli bir ürün elde etmek mümkün olmamaktadır. Öncelikle karıştırma kabına kullanılacak ölçüde epoksi reçine koyularak tartılmıştır. Üzerine gerekli miktarda sertleştirici madde ilave edilerek homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Bu aşamada maske kullanılması gerekmektedir.

2.2. Böceklerin Epoksi Reçine İçine Yerleştirilmesi, Kuruma Aşaması ve Kalıptan Çıkarılması

Böcek türlerinin preparasyonu tamamlanıp kuruma sürecinden sonra kalıp içerisinde epoksi ile buluşması sağlanmıştır. Burada türün boyutuna ve büyüklüğüne göre kalıplar kullanılması gerekmektedir. Genellikle çeşitli şekillerde ve boyutlarda silikon kalıplar piyasada bulunmaktadır. Epoksi reçine silikon plastik yüzeylere yapışmadığından çalışmada bu kalıplar tercih edilmiştir. Hazır kalıp dışında şeffaf pleksi levhalar ile de gerekli boyutlarda kesim yapılarak kalıp oluşturulabilmektedir. Kalıbın zeminine ince bir taban olacak şekilde epoksi reçineden yavaşça dökülmüş, üzerine yerleştirilen böceğin sabit bir şekilde durması sağlanmıştır. Bazen karışım içine yerleştirilen böceğin bulunması gereken yerden kaydığı görülebilir. Bu süreçte takibi yapılarak yaklaşık 3-4 saat tabana dökülen reçinenin sertleşmesi beklenmiştir. Sertleştiğinden emin olduktan sonra kalan epoksi reçine karışımı tek bir noktadan sabit ve yavaş bir şekilde böceğin üzerine dökülmüştür. Bu arada oluşabilecek baloncuklar pürmüz çakmak veya normal bir çakmakla yüzeyden ısıtılarak yok edilmiştir. Ancak çakmağın epoksi reçineye zarar vermeyecek yakınlıkta tutulması gerekmektedir. Epoksi reçinenin kalıba dökülmesinden itibaren yaklaşık 24 saat beklenmiştir. Oda sıcaklığı düşük olduğunda bekleme süresi uzayabilmekte ve 48 saate çıkabilmektedir. Çalışma ortamının koşullarına uygun sürede bekletilirse Şekil 2' deki gibi sert ve istenilen kalıpta çıkmaktadır. Epoksi reçinenin kurduğundan emin olduktan sonra kalıptan çıkarılıp tozsuz ve temiz bir ortama alınmıştır.



Şekil 2. Kalıptan çıkarılan türler

2.3. Zımparalama ve Cilalama İşlemi

Epoksi reçineli numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra üzerindeki pürüzlerin, çıkıntılıların zımparalanması ve sonrasında ise cilalanması gerekmektedir. Zımparalama ve cilalama aşamasında yüzeye uygulanan işlemlerin tek bir yönde, dairesel olmasına özen gösterilmiştir. İşleme başladıktan sonra zımparalama kademeli olarak bir üst numaralı zımparaya geçecek şekilde (800-1000-1500-2000) ve eşit bir sürede uygulanmıştır. Zımparalama işlemi yaparken zımparanın ve zımparalanan alanın yüzeyi su ile ıslatırsa daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu suyun içine bir damla bulaşık deterjanı damlatmak, zımparalama bitince mikrofiber parlatma bezi ile yüzeyi temizlemek iyi bir sonuç almayı kolaylaştırmaktadır. Zımparalama işlemi bittikten sonra cilalama yani buzlu halde olan yüzeyi parlatma aşaması gelmektedir. Piyasada epoksi parlatıcı cila çeşitleri bulunmaktadır. Cilalama işlemi tamamlanınca pürüzsüz ve parlak bir ürün ortaya çıkmaktadır. Her bir numuneye böceğin Latince ismi de eklenmiştir.

Kalıplara koyularak epoksi reçine içine yerleştirilmiş ve kurutulmuş böcek örnekleri aşağıda Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Epoksi reçine içine yerleştirilmiş böcek örnekleri

3. Tartışma ve Sonuç

Büyük yapılı böcekler için de kullanılmakla birlikte daha çok yumuşak vücutlu, çok ince ve kırılmaya müsait küçük böcekler, nimfler ve larvalar %70-95'lik alkol, %2 gliserin içinde saklanırlar. Farklı türler için farklı oranlarda alkole gereksinim duyulmaktadır. Yüksek orandaki alkol böceğin doğal rengini bozmakta, dokularını sertleştirmekte ve kolay kırılmalara sebep olmaktadır. Uçucu nitelikte olduğundan alkol oranındaki düşüşler, içinde muhafaza edilen numunelerin bozulmasına sebep olabilmektedir. Bu nedenle kontrolü ve eksilen alkol miktarının tamamlanması zorunluluk arz etmektedir. Ayrıca alkol içindeki örnekler titreşimlerden ve ışıktan; kurutulmuş örnekler ise nemden, küf funguslarından, nekrofaj böceklerden zarar görebilmektedir. Bu nedenle nemden uzak bir ortamda naftalin, glo vb ilaçlarla muhafaza edilmelidir. Bu ilaçlar uçucu olduğundan sık sık kontrol edilerek tükenme durumuna göre ekleme yapılması gerekmektedir (Çanakçıoğlu, 1993; Göktürk & Aksu, 2010).

Acatay (1971) böceğin estetik şeklinin bozulmadan poliester reçine içine üç aşamalı olarak itinalı bir şekilde yerleştirilmesini tavsiye etmiştir. Bu sürecin, yapılan açıklamalara göre yaklaşık bir haftada tamamlanabildiği anlaşılmaktadır. Göktürk & Aksu (2010), Dewester Polyester kullanarak yaptıkları çalışmayı da üç aşamalı olarak gerçekleştirmişler ve 6-7 gün sürdüğünü belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise Epoksi reçine kullanılmıştır. Hazırlanması ve bekleme süresi ile birlikte yaklaşık 3-4 günde tamamlanmaktadır. Sürecin kısıtlılığı bakımından diğer yöntemlere göre avantajlı olduğu görülmektedir.

Hazırlanan örneklerin uzun yıllar bozulmadan kullanılabilmesi, farklı amaçlara hizmet edebilmesinin yanı sıra böcek örneklerinin heba olmasına engel olarak, kullanılan numune sayısını azaltacağından tercih edilebilecek bir koleksiyon yöntemidir. Bu durum doğa ve biyolojik çeşitliliği korumaya katkı sağlamaktadır.

Epokside muhafaza edilen numunelerin kullanımı güvenlidir, kırılmaz, parçalanma endişesi olmaz. Toksik ya da mikrobik de değildir. Büyüteç ve mikroskop altında net bir şekilde incelenebilir. Kötü kokmadığı için formalin veya alkolde saklananlardan daha üstündür.

Teşekkür: Bu çalışmaya 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı ile finansal destek sağlayan TÜBİTAK'a çok teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. **Acatay, A. (1971).** Poliester Reçinesinde Böcek Preparatları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt XXI, Sayı:2, 60-63s.
2. **Baydemir, T. (2020).** Epoksi Reçine Teknolojileri, *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, Aralık 2020 <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/epoksi.pdf>
3. **Bejcek, J. R., Curtis-Robles, R., Riley, M., Brundage, A., Hamer, S. A. & Hamer, G. L. (2018).** Clear Resin Casting of Arthropods of Medical Importance for Use in Educational and Outreach Activities, *Journal of Insect Science*, <https://academic.oup.com/jinsectscience/article/18/2/34/4955728>, Volume 18, Issue 2, 34p.
4. **Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J.C., Hallmann, C.A. & Samways, M.J. (2020).** "Scientists' Warning to Humanity on Insect Extinctions." *Biological Conservation* 242: 108426. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320719317823>
5. **Çanakçıoğlu, H. (1993).** *Böceklerin Toplanma-Preparasyon-Muhafaza ve Teşhisi*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları: 3768/422, İstanbul, XII+616s.
6. **Çanakçıoğlu, H. & Mol, T. (1998).** Orman Entomolojisi Genel Bölüm. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, Rektörlük No:4155, Fak. No:455, ISBN: 975-404-522-4, İstanbul, 404s.
7. **Göktürk, T. & Aksu, Y. (2010).** Böceklerin Koleksiyon Tekniklerinden Yeni Bir Metod Polyester İçine Hapsetme. III. *Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi*, 20-22 Mayıs 2010, Cilt: IV, 1397-1402s.
8. **Miyan, K. & Khan, S. (2021).** Plastic Embedding: A Noble Technique for Preserving Specimens in Museum. *International Journal of Science and Research (IJSR)* <https://www.ijsr.net/archive/v10i9/SR21918161737.pdf> ISSN: 2319-7064, Volume 10, Issue 9, 923-925p.

9. Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B. & Worm B. (2011). How many species are there on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol.*; 9:e1001127. pmid:21886479. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
10. Pernstich, A., Krenn, H. & Pass, G. (2003). Preparation of serial sections of arthropods using 2,2-dimethoxypropane dehydration and epoxy resin embedding under vacuum. *Biotechnic & Histochemistry: official publication of the Biological Stain Commission.* 78. 5-9. 10.1080/10520290312120002.
11. URL-1, (2024). <https://www.tr.weber/blog/fonksiyonel/epoksi-nedir>
12. URL-2, (2024). Epoxies at a Glance, Epoxy Resin Committee, https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/06/epoxy_resin_committee_factsheet_epoxies_at_a_glance-2.pdf
13. URL-3, (2024). https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-6940-0_12; Epoxy Resins. In: Surface Coatings. Springer, Dordrecht. 120-129pp.

Üniversitelerde Dijital Araç Yönetimi: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Örneğiyle Web Tabanlı Araç Takip ve İzleme Sistemi

Erol Kına^{*1,2}, Emre Biçek³, Mevlüt İnan⁴, Osman Gümüş⁵, Armağan Umut Alkan^{6,2}

¹ Van YYÜ Özalp MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Van

² Van YYÜ, İnnovan Girişimcilik Merkezi, Van

³ Van YYÜ Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Van

⁴ Van YYÜ Başkale MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Van

⁵ Van YYÜ Van MYO, Bilgisayar Programcılığı Bölümü, Van

⁶ Van YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ABD, Van

Öz

Bu çalışma, üniversite bünyesindeki motorlu araçların kayıt ve takip işlemlerini otomatikleştirmek amacıyla bir web tabanlı yazılım geliştirme hedefiyle gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılım, araçların detaylı bilgilerini kaydederek bakım, muayene ve sigorta gibi periyodik gereksinimlerin takibini etkin bir şekilde sağlamış, üniversitenin araç yönetim süreçlerini sistematik bir şekilde düzenlemiş ve kullanıcı dostu, kolay erişilebilir bir arayüz sunmuştur. Projenin teknolojik altyapısı PHP ve MySQL gibi açık kaynak kodlu yazılım dilleri kullanılarak oluşturulmuş ve lisans maliyeti gerektirmeyen bu sistem üniversite iç kaynaklarıyla sürdürülebilir bir şekilde yönetilmiştir. Yazılımın web tabanlı yapısı kullanıcıların masaüstü bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet veya mobil cihaz gibi farklı platformlardan erişim sağlamalarına olanak tanımış; bu esneklik, sistemin platform bağımsız çalışmasını ve kullanıcılar için pratik bir kullanım deneyimi sunmasını mümkün kılmıştır. Proje, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de önemli katkılar sağlamış, 6 ayda toplam 357.88 litre yakıt tasarrufu ve 944.80 kg CO₂ salınımının önlenmesini sağlamıştır. Bu sistemin uygulanması, üniversitenin karbon ayak izini azaltmaya yönelik hedeflerine ulaşmasına destek olmuş ve uzun vadeli sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımıştır. Sonuç olarak, geliştirilen yazılım yalnızca üniversite için değil, aynı zamanda diğer eğitim kurumları ve benzer yapıya sahip büyük ölçekli kurumlar için de örnek teşkil edebilecek bir model sunmuştur. Yazılımın sunduğu detaylı raporlama ve analiz özellikleri sayesinde, araçların bakım ve muayene süreçleri daha etkin bir şekilde takip edilmiş, böylece araçların işletme maliyetleri optimize edilmiştir. Yazılımın tasarımında kullanıcı dostu bir arayüz tercih edilmiş, çalışanların sisteme adaptasyonu için gerekli eğitimler sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Araç takibi, filo yönetimi, karbon emisyonları, sürdürülebilirlik, üniversite operasyonları, yakıt verimliliği

Digital Vehicle Management in Universities: A Web-Based Vehicle Tracking and Monitoring System-The Case of Van Yüzüncü Yıl University

Extended Abstract

Efficient management of vehicle fleets is essential for institutions aiming to optimize their operational processes, reduce costs, and achieve sustainability goals. This study presents a web-based vehicle tracking and management software system developed to address these challenges within a university context. Traditional manual tracking methods often lead to inefficiencies, missed deadlines for periodic requirements, and increased operational costs. By leveraging digital technologies, this project aims to streamline vehicle management processes and contribute to environmental sustainability.

The developed system was designed using open-source technologies, including PHP and MySQL, ensuring cost-effectiveness and scalability. It offers a user-friendly, web-based interface accessible via multiple platforms, such as desktops, laptops, tablets, and mobile devices. Key functionalities include recording detailed vehicle information, automated notifications for maintenance, inspections, and insurance renewals, as well as monitoring fuel consumption and emissions data. The system's flexible architecture allows it to be tailored for other institutions with similar requirements, demonstrating its adaptability and potential for broader applications. The software was implemented in the management of a fleet comprising 48 vehicles, categorized into passenger cars, buses/minibuses, and heavy-duty vehicles. Over a six-month period, the system tracked key metrics such as daily usage, fuel consumption, maintenance schedules, and CO₂ emissions. Data from the post-implementation period were compared with pre-implementation figures to assess the system's impact on operational efficiency, cost reduction, and environmental sustainability. The results revealed significant improvements in several areas. The system automated periodic tracking processes, reducing administrative workload and saving time. Maintenance and fuel costs were optimized through preventive measures and detailed analyses, leading to a six-month saving of 357.88 liters of fuel. This reduction in fuel consumption equates to a prevention of approximately 944.80 kg of CO₂ emissions, supporting the university's carbon footprint reduction objectives. The user-friendly interface and accessible design enhanced staff adaptability to the system, while robust security measures ensured data privacy and restricted access to authorized personnel only. This project highlights the transformative potential of digital solutions in vehicle management, particularly within educational institutions. Beyond operational improvements, the system aligns with environmental sustainability goals by integrating energy efficiency and emission monitoring modules. It offers a replicable model for other universities and large-scale organizations seeking to optimize their vehicle fleets while adhering to sustainability principles. In conclusion, this study demonstrates how a tailored vehicle management system can address operational inefficiencies, reduce costs, and support long-term sustainability goals. By automating routine processes and enabling detailed analysis of resource usage, the system provides a strategic advantage in modern vehicle fleet management. Its success within the university setting underscores its potential for wider application, contributing to a more sustainable and efficient future.

Key words: Vehicle tracking, fleet management, sustainability, fuel efficiency, carbon emissions, university operations

1.Giriş

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte, kullanıcılar iş süreçlerini kolaylaştırmak ve verimliliği artırmak için modern teknolojiden giderek daha fazla yararlanmaya başlamış böylece yeni teknolojik cihazların, yazılımların ve uygulamaların hayatımızdaki rolü giderek daha önemli hale gelmiştir (Desai & Phadke, 2017; Mimbala vd., 2024; Şengül & Selvi, 2021). Bu gelişmeler, birçok sektörde dijitalleşme ve otomasyon çözümlerine olan talebi artırmıştır. Günümüz çağı, teknolojideki önemli ilerlemeler ve yaygın dijital çözümler ile karakterize edilmektedir (Koca, 2024). Bu nedenle, özellikle büyük ölçekli operasyonlarda, süreçlerin daha verimli bir şekilde yönetilmesi için dijital teknolojilere dayalı sistemlerin kullanımı bir gereklilik haline gelmiştir. Bu bağlamda, araç takip sistemleri, lojistikten üniversite yönetimine kadar geniş bir uygulama alanında kritik bir rol üstlenmektedir (Lee vd., 2014; Jimoh vd., 2020). GPS, GPRS, Android işletim sistemleri ve Wi-Fi gibi çeşitli konum izleme

teknolojileriyle donatılan bu sistemler, günümüzde araç takibini daha etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirmektedir (Dandıl & Demir, 2020; Pathan & Bongale, 2022; Şengül & Selvi, 2021).

Araç takip sistemlerinin sunduğu bu olanaklar, farklı sektörlerde süreçlerin daha etkin yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle üniversite kampüsleri gibi özel alanlarda, hem araç hareketlerini izlemek hem de yönetim süreçlerini optimize etmek amacıyla bu teknolojilere dayalı çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Bu bağlamda, üniversite kampüsleri gibi özel alanlarda araç takibini optimize etmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin, Jimoh vd., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, Federal Teknoloji Üniversitesi'nde, mevcut toplu taşıma sisteminin düzensiz ve zamanlama açısından yetersiz olması nedeniyle gerçek zamanlı bir takip ve bilgi paylaşım sistemi geliştirilmiştir. Benzer şekilde, Ahmed vd., (2024) Pabna Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (PUST) için gerçek zamanlı araç konum takibi sağlayan Android ve web tabanlı bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem, kampüs içindeki araçların hareketlerini izlemek ve yönetmek amacıyla tasarlanmıştır.

Bu tür yenilikçi çözümler, eğitim kurumlarında operasyonel süreçlerin yönetimini daha etkin hale getirmek için sağlam bir temel oluştururken, araç takip ve yönetim sistemlerinin üniversiteler için sunduğu avantajlar giderek daha belirgin hale gelmektedir. Eğitim kurumlarında geniş araç filolarının sistematik bir şekilde yönetilmesi, hem verimliliği artırmakta hem de kaynakların daha etkin kullanılmasına olanak tanımaktadır. Manuel sistemlerle yapılan takip, süreçlerin aksamasına ve insan hatasına bağlı olarak araçların yasal düzenlemelere uyumunun ihmal edilmesine neden olabilmektedir. Örneğin, sigorta, egzoz muayenesi veya fenni muayene gibi periyodik gerekliliklerin manuel yöntemlerle kontrol edilmesi, zamanında yapılmayan işlemler nedeniyle yasal cezalarla karşılaşma riskini artırmaktadır. Bu doğrultuda, üniversite araçlarının yalnızca konum takibini değil, aynı zamanda sigorta, egzoz muayenesi ve fenni muayene gibi süreçlerin dijital olarak yönetilmesi ayrıca araçların kullanım ve performans verilerinin sürekli izlenmesi, yasal uygunluğu güvence altına alırken operasyonel süreçleri de hızlandırmaktadır. Üniversite kampüsleri gibi özel alanlarda, araç hareketlerini izlemek ve yönetim süreçlerini optimize etmek için bu tür teknolojilere dayalı yenilikçi çözümler kritik bir gereklilik haline gelmiştir.

Bu bağlamda, sunulan bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nin araç envanterine yönelik olarak geliştirilen web tabanlı araç takip yazılımını ele almayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, üniversitenin geniş araç filosunun bakım, muayene, sigorta ve emisyon gibi kritik operasyonel gereksinimlerinin sistematik bir şekilde yönetilmesine olanak tanıyan bu yazılımın, eğitim kurumlarına özgü bir çözüm olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Yazılımın temel amacı, operasyonel süreçlerin dijitalleştirilerek daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir yapı kazandırılmasıdır. Bunun yanı sıra, çalışmanın bir diğer amacı, bu yazılımın sunduğu teknolojik yeniliklerin eğitim kurumlarındaki diğer yönetim süreçlerine adaptasyon potansiyelini ortaya koymaktır.

2. Literatür İncelemesi

Araç takip sistemleri, teknolojik gelişmelerle birlikte lojistik, filo yönetimi ve güvenlik alanlarında önemli bir yer edinmiştir. Literatürde, araç takip sistemlerinin özellikle gerçek zamanlı izleme, maliyet etkinliği ve kullanıcı dostu arayüzler sağlama konularındaki katkıları üzerinde durulmaktadır. Bu bölümde, mevcut çalışmalar ışığında araç takip sistemlerinde kullanılan teknolojiler, yöntemler ve uygulama alanları ele alınmıştır.

Lee vd., (2014)'ün çalışmasında, GPS, GSM ve GPRS teknolojileri bir akıllı telefon uygulamasıyla entegre edilerek düşük maliyetli ve etkili bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, araçların gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak kullanıcıların araç konumlarını Google Maps üzerinden kolayca takip edebilmesine olanak tanımaktadır. Araç içine yerleştirilen cihaz, GPS modülüyle coğrafi koordinatları toplarken, GSM/GPRS modülü bu bilgileri bir sunucuya iletmektedir. Mikrodenetleyici, bu modülleri kontrol ederek verilerin işlenmesini ve aktarılmasını sağlamaktadır. Toplanan veriler veritabanında saklanmakta ve akıllı telefon uygulamasıyla görüntülenmektedir. Sistem, filo yönetimi, araç güvenliği ve toplu taşıma gibi alanlarda kullanılacak etkili ve düşük maliyetli bir çözüm sunmaktadır.

Maruthi & Jayakumari, (2014) tarafından yapılan çalışmada, SMS tabanlı bir otobüs takip sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, otobüslerin konumunu takip etmek için GPS alıcıları kullanmakta ve bu verileri GSM ağı üzerinden SMS ile merkezi bir sunucuya iletmektedir. Sunucuda veriler bir MySQL veritabanında saklanmakta ve PHP ile yazılmış bir uygulama aracılığıyla kullanıcı taleplerine cevap verilmektedir. Kullanıcılar, otobüs konumunu öğrenmek için belirli bir formatta SMS göndererek bilgi talep edebilirler. Sunucu, gelen talepleri işleyerek

otobüsün mevcut konumunu kullanıcıya SMS ile geri iletmektedir. Ayrıca sistem, gecikmeler, rota değişiklikleri ve iptaller gibi durumlarda kullanıcıları bilgilendirmek için SMS bildirimleri de gönderebilmektedir.

Khin & Oo, (2018) tarafından yürütülen çalışma, Arduino, GPS ve GSM teknolojilerini kullanan gerçek zamanlı bir araç takip sistemi geliştirilmesini ele almıştır. Sistem, araçların konumunu GPS modülü ile tespit etmekte, bu verileri GSM modülü üzerinden bir web sunucusuna iletmekte ve Google Maps API ile harita üzerinde görselleştirmektedir. Araçta yer alan donanım, Arduino Uno R3, SIM800A GSM modülü ve NEO 6M GPS modülünden oluşmaktadır. GPS modülü, uydulardan gelen konum bilgilerini toplar ve GSM üzerinden bir http sunucusuna gönderir. Bu çalışma, araçların gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlamak amacıyla ekonomik ve kullanımı kolay bir çözüm sunmuştur. Çalışma sonuçları, sistemin konum doğruluğu ve performans açısından endüstriyel cihazlarla uyumlu olduğunu göstermiştir.

Jimoh vd., (2020) tarafından Federal Teknoloji Üniversitesi Minna'da iki kampüs arasında toplu taşıma araçlarının takibini ve yönetimini iyileştirmek için bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde GPS ve GSM modülleri kullanılarak araçların konumu gerçek zamanlı olarak belirlenmiş ve bu bilgiler Google Maps API ile görselleştirilmiştir. Sistem, bekleme sürelerini azaltarak ulaşım düzenini iyileştirmiş ve düşük hata oranlarıyla başarılı bir şekilde test edilmiştir.

Abid vd., (2022) tarafından Khulna Üniversitesi'ndeki kampüs araçlarını takip etmek için IoT tabanlı bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. Sistem, araçların GPS modülü ile konum bilgilerini toplamakta ve GSM/GPRS üzerinden Firebase tabanlı bir veri tabanına göndermektedir. Toplanan veriler, gerçek zamanlı olarak Android bir uygulama aracılığıyla Google Maps üzerinde görüntülenmektedir. Bu çözüm, öğrenci ve personelin araçların tahmini varış süresini görmelerine olanak sağlayarak bekleme sürelerini azaltmayı hedeflemiştir. Ayrıca, sistem gelecekte rota optimizasyonu gibi daha gelişmiş özelliklerin entegre edilmesine de olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma, Khulna Üniversitesi taşımacılık hizmetlerini daha verimli hale getirmeyi amaçlayan başarılı bir çözüm sunmuştur.

Shibghatullah vd., (2022) tarafından yapılan çalışmada, GPS teknolojisi kullanılarak Android tabanlı bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. Sistem, araçların gerçek zamanlı konum takibini sağlamakta, verileri Firebase Real-Time Database üzerinde saklamakta ve Google Distance Matrix API ile tahmini varış sürelerini hesaplamaktadır. Kullanıcı uygulaması, araç konumlarını ve varış sürelerini Google Maps üzerinde görüntülerken, sistem trafik koşullarına göre doğru tahminler sunarak bekleme sürelerini azaltmayı hedeflemiştir. Çalışma, düşük maliyetli bir çözüm olarak başarılı bulunmuştur.

Ahmed vd., (2024) tarafından yapılan çalışmada, Pabna Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (PUST) için Android ve web tabanlı bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. GPS modülü ve NodeMCU ESP8266 kullanılarak araçlardan alınan veriler, Firebase Real-Time Database üzerinde saklanmış ve Google Maps API aracılığıyla kullanıcı arayüzünde görselleştirilmiştir. Web ve Android tabanlı kullanıcı arayüzleri sayesinde, kullanıcılar araçların mevcut konumlarını ve geçmiş rotalarını görüntüleyebilmekte, bu da ulaşım ve filo yönetimini daha etkili hale getirmektedir. Çalışma, kampüs içindeki ulaşım süreçlerini optimize ederek bekleme sürelerini azaltmayı ve kullanıcı deneyimini iyileştirmeyi hedeflemiştir.

Mimbala vd., (2024) Mindanao State University Lanao del Norte Agricultural College (MSU-LNAC) için web tabanlı bir araç takip sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, kampüs araçlarının giriş ve çıkışlarını QR kodlar ve SMS bildirimleri ile izleyerek manuel kayıt yöntemlerinin neden olduğu zaman kaybı ve veri hatalarını ortadan kaldırmayı hedeflemektedir. Araç kayıtları için QR kodları oluşturulmuş ve güvenlik personeli tarafından bu kodlar taranarak giriş ve çıkış bilgileri otomatik olarak kaydedilmiştir. Yazılım geliştirme sürecinde Waterfall modeli kullanılmış ve sistemin işlevselliği kapsamlı testlerle doğrulanmıştır. Kullanıcı değerlendirmeleri, sistemin güvenilirlik, kullanım kolaylığı ve memnuniyet açısından yüksek puanlar aldığını göstermiştir.

Nebati, (2024) "Yalın Tedarik Zinciri Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz" çalışmasında, yalın tedarik zinciri yönetimi kapsamında çeşitli teknolojik sistemlerin kullanımını incelemiştir. Özellikle tedarik zincirinde kullanılan GPS tabanlı ürün ve araç takip sistemleri, lojistik süreçlerin iyileştirilmesi, envanter yönetiminin optimize edilmesi ve sürecin daha şeffaf hale getirilmesi için önem taşımaktadır.

Sayın & Özcan, (2024) yaptıkları çalışmada, lojistik sektöründe özellikle bir ecza deposunda araç takip sistemlerinin kullanımını detaylandırmıştır. Araç takip sistemleri, araçların anlık konumlarının GPS ile izlenmesi,

rota belirleme, hız kontrolü ve belirli alanların dışına çıkılması durumunda uyarı gönderme gibi özelliklerle donatılmıştır. Bu sistemin, depo operasyonlarının verimliliğini artırdığı, bekleme sürelerini azaltarak zaman ve maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca sisteme sıcaklık ve nem kontrolü gibi özellikler de eklenerek soğuk zincir gerektiren ilaçların uygun koşullarda taşınması sağlanmıştır.

Ulugöl & Bilgili, (2024) tarafından yapılan, “Yerel Yönetimlerde Ortak Alanlar Trajedisi: Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi Örneği” başlıklı çalışmada, ortak alanların korunması ve yönetilmesine yönelik çeşitli önlemler tartışılmıştır. Çalışmada özellikle hafriyat nakliyesi yapan araçların resmi hafriyat alanlarının dışında döküm yapmasını engellemek amacıyla, araçlara takip cihazları takılarak araçların izlenmesi sağlanmıştır.

Yukarıda yer alan çalışmalar, araç takip sistemlerinin farklı alanlarda nasıl kullanıldığını ve sağladığı faydaları detaylandırmaktadır. Araç takip sistemlerinin GPS, GSM, GPRS ve IoT gibi teknolojilerle entegre edilerek gerçek zamanlı konum takibi, rota optimizasyonu, güvenlik önlemleri ve operasyonel süreçlerin verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli uygulamaları ele alınmıştır. Literatürdeki çalışmalar, genellikle araçların konum takibi ve yönetimine odaklanmış olup, toplu taşıma, lojistik ve filo yönetimi gibi alanlarda uygulanmıştır. Örneğin, Lee vd. (2014) ve Khin & Oo (2018) tarafından geliştirilen sistemler, araçların gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlarken, Jimoh vd. (2020) ve Ahmed vd. (2024) ise kampüs içi ulaşımda toplu taşıma araçlarının takibine yönelik çözümler sunmuştur. Bu çalışmalardan farklı olarak, bizim çalışmamız yalnızca araçların konum takibini değil, aynı zamanda bakım, muayene ve sigorta gibi periyodik gereksinimlerin sistematik bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır. Açık kaynak kodlu PHP ve MySQL teknolojileriyle geliştirilen sistem, lisans maliyetlerinden tasarruf sağlarken, kullanıcıların masaüstü, dizüstü, tablet ve mobil cihazlardan erişim sağlayabileceği esnek ve güvenilir bir yapı sunmaktadır. Bu yönleriyle, çalışma, üniversitelerin operasyonel süreçlerini dijitalleştirmeye ve daha verimli hale getirmeye yönelik özgün bir çözüm olarak literatüre katkı sağlamaktadır.

3. Gereç ve Yöntem

3.1. Gereç

Bu proje kapsamında üniversite bünyesinde bulunan motorlu araçların kayıt ve takip işlemlerini gerçekleştirecek bir web tabanlı yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın geliştirilmesinde kullanılan başlıca gereçler şunlardır:

3.1.1. Yazılım Teknolojileri

PHP: Sunucu tarafında çalışan açık kaynak kodlu bir programlama dili olan PHP, yazılımın dinamik bir yapıda ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için tercih edilmiştir.

MySQL: Veritabanı yönetim sistemi olarak kullanılan MySQL, araç verilerinin güvenli ve düzenli bir şekilde saklanmasını ve verilere hızlı erişimi sağlamaktadır. Bu veritabanı ile araçların tüm kayıt bilgileri, bakım geçmişleri ve kilometre bilgileri gibi veriler depolanmaktadır.

HTML5 ve CSS: Kullanıcı arayüzü tasarımı için HTML5 ve CSS teknolojileri tercih edilmiştir. Bu teknolojiler sayesinde, farklı cihazlardan erişilebilen, kullanıcı dostu ve responsive (duyarlı) bir arayüz oluşturulmuştur.

3.1.2. Donanım Gereksinimleri

Sunucu: Yazılımın üniversite ağı içinde güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kurum bünyesinde mevcut olan sunuculardan faydalanılmıştır. Sunucu, yazılımın kesintisiz ve hızlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır.

Güvenlik Duvarı (Firewall): Veri güvenliği sağlamak için üniversitenin mevcut güvenlik duvarı sistemleri kullanılmıştır. Bu, kullanıcı verilerinin ve araç bilgilerinin yetkisiz erişimlere karşı korunmasını sağlamaktadır.

3.1.3. Ek Yazılımlar ve Güvenlik Protokolleri

MD5 Şifreleme: Kullanıcı şifrelerinin korunması ve veri güvenliği için MD5 şifreleme algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, kullanıcıların verilerinin korunması için ek bir güvenlik katmanı sağlamaktadır.

KVKK Uyumluluğu: Yazılım, Türkiye’de yürürlükte olan Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) çerçevesinde geliştirilmiş olup, kullanıcı verilerinin gizliliği ve korunması amacıyla gerekli tedbirler alınmıştır.

Bu proje kapsamında geliştirilen web tabanlı yazılım, üniversite bünyesinde bulunan motorlu araçların kayıt ve takip işlemlerini dijital olarak yönetmek amacıyla PHP, MySQL, HTML5 ve CSS gibi açık kaynak teknolojiler kullanılarak tasarlanmıştır. Yazılımın üniversite ağı içinde güvenli bir şekilde çalışabilmesi için kurum bünyesindeki sunucu altyapısı kullanılmış, güvenlik duvarı sistemleri ile veri güvenliği güçlendirilmiştir. Kullanıcı verilerinin korunması amacıyla MD5 şifreleme algoritması tercih edilmiş ve yazılım KVKK’ya uyumlu şekilde geliştirilmiştir. Böylece, araç verilerinin güvenilir, hızlı ve erişilebilir bir yapıda saklanması sağlanmış, kullanıcı dostu arayüz tasarımı ile tüm işlemler daha pratik hale getirilmiştir. Bu gereçler, üniversitenin araç yönetim sürecini daha sistematik, güvenli ve verimli bir yapıya kavuşturmuştur.

3.2. Yöntem

Bu proje kapsamında geliştirilen araç kayıt ve takip yazılımı, üniversite bünyesindeki motorlu araçların sistematik bir şekilde yönetilmesini sağlamak amacıyla belirli adımlarla hayata geçirilmiştir. Yöntem süreci aşağıdaki aşamaları kapsamaktadır.

3.2.1. Araç Kayıt ve İzleme Modülü Geliştirilmesi

Araçların marka, model, kilometre bilgisi, plaka numarası gibi kritik bilgilerinin kaydedilmesi için bir veri giriş ekranı tasarlanmıştır. Bu sayede tüm araç bilgileri dijital ortamda toplanarak takip edilebilir hale getirilmiştir. Yazılıma eklenen GPS modül entegrasyonu sayesinde, araçların anlık konumlarının izlenmesi de sağlanmıştır. Bu veriler sunucu tarafında depolanarak, araç filosunun güncel durumu anında görüntülenebilmektedir.

3.2.2. Bakım ve Muayene Geçmiş Modülü

Araçların bakım ve muayene geçmişlerinin kaydedildiği bir modül geliştirilmiştir. Bu modül, her aracın bakım ve muayene işlemlerinin detaylı bir şekilde izlenmesini sağlamaktadır. Sistem, belirlenen bakım tarihlerine göre ilgili kullanıcılara otomatik hatırlatma bildirimleri göndermektedir. Bu sayede, araçların periyodik bakımları zamanında gerçekleştirilmekte ve güvenli bir kullanım sağlanmaktadır.

3.2.3. Enerji Verimliliği ve Emisyon Takibi

Araçların yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin izlenebilmesi için enerji verimliliği analizleri yapılmıştır. Her bir aracın yakıt tüketim bilgileri sistemde kayıt altına alınarak analiz edilmiş ve bu sayede çevresel etkiler değerlendirilmiştir.

3.2.4. Maliyet ve Verimlilik Analizi

Üniversite araç filosunun verimliliğini artırmak için Günlük Kullanım ve Yakıt Tüketimi Takip Sistemleri uygulanmıştır. Araçlar Binek Araçlar, Otobüs/Minibüsler ve İş Makineleri olarak üç kategoriye ayrılmıştır. Sistem öncesi ve sonrası dönemlerde günlük kullanım mesafeleri, yakıt tüketimi ve bakım maliyetleri düzenli olarak kaydedilmiş ve 6 aylık verilere dayalı analizler yapılmıştır. Araç kategorilerine göre kilometre, yakıt tüketimi ve bakım maliyetlerindeki değişim hesaplanmış ve maliyet tasarrufları değerlendirilmiştir.

3.2.5. Veri Güvenliği ve Erişim Yönetimi

Yazılımın veri güvenliğini sağlamak amacıyla şifreleme protokolleri ve KVKK uyumlu veri koruma önlemleri uygulanmıştır. Kullanıcılar, belirli yetkilendirme seviyelerine göre sisteme erişmekte ve yalnızca yetkili personel kritik bilgilere erişebilmektedir. Geliştirilen erişim yönetim sistemi ile kullanıcılar, kendi verilerine erişim düzeylerini yönetebilir ve gerektiğinde bu verilere erişimi sınırlayabilir veya tamamen kaldırabilir.

4. Bulgular

Geliştirilen yazılım, üniversitenin araç envanterini daha düzenli, erişilebilir ve sürdürülebilir bir şekilde yönetmek amacıyla tasarlanmıştır. Araçların bakım, muayene, sigorta, egzoz emisyonu gibi kritik operasyonel gereksinimlerini izlemek ve yönetmek için geliştirilen bu yazılım, üniversitenin geniş araç filosunun dijital bir platform üzerinden sistematik bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Sistem, kullanıcı dostu bir arayüzle, araç yönetim süreçlerini kolaylaştırmak ve kullanıcıların ihtiyaç duydukları bilgilere hızlı bir şekilde erişmelerini sağlamak amacıyla farklı işlevsel ekranlar sunmaktadır. Her bir ekran, belirli bir yönetim fonksiyonuna odaklanarak hem süreçlerin dijitalleştirilmesini hem de yönetim etkinliğini artırmayı hedeflemektedir.

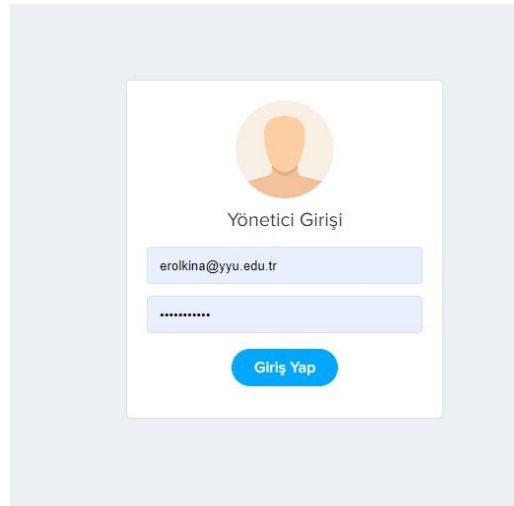
Yazılımın temel özellikleri şunlardır:

- **Güvenli Giriş:** Yetkilendirilmiş kullanıcıların sisteme güvenli bir şekilde erişmesini sağlayarak veri gizliliği ve güvenliği önceliklendirilmektedir.
- **Araç Envanteri Yönetimi:** Üniversite bünyesindeki tüm araçların detaylı bilgileri kaydedilmekte ve gerektiğinde güncellenebilmektedir.
- **Muayene ve Sigorta Takibi:** Araçların fenni muayene, sigorta ve egzoz emisyon tarihlerinin düzenli olarak takip edilmesini sağlayarak operasyonel aksaklıkların önüne geçilmektedir.
- **Kullanıcı Yönetimi:** Sisteme erişim yetkisi bulunan kullanıcıların bilgileri düzenlenebilmekte ve yetkilendirme süreçleri daha hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
- **Filtreleme ve Arama:** Araçların model, plaka, muayene tarihleri gibi kriterlere göre filtrelenebilmesi ve arama yapılabilmesi, büyük bir envanterin yönetimini kolaylaştırmaktadır.
- **Raporlama ve Görselleştirme:** Kullanıcılar, ihtiyaç duydukları raporları alabilir, süreçleri daha iyi anlamak ve analiz etmek için görsel araçlardan yararlanabilir.

Sistemin sunduğu bu özellikler, üniversitenin araç filosunun yönetim süreçlerini dijitalleştirerek daha verimli ve güvenli bir yapıya kavuşturmayı hedeflemektedir. Yazılımın detaylı ekranları ve işlevleri aşağıda sıralanmıştır.

4.1. Giriş Ekranı

Şekil 1'de, yetkilendirilmiş kullanıcıların sisteme güvenli bir şekilde erişimini sağlamak için tasarlanmış giriş ekranı gösterilmektedir.



Şekil 1. Giriş Ekranı

Bu ekranda, kullanıcı adı ve şifre giriş alanları yer almakta olup, yetkisiz erişimlerin önlenmesi amacıyla şifre koruma özellikleri uygulanmıştır. Sisteme giriş işlemi, e-posta adresi ve şifrenin girilmesiyle "Giriş Yap" butonuna tıklanarak gerçekleştirilir. Ekran, veri gizliliğini korumak ve yalnızca yetkili personelin erişimine açık olacak şekilde yapılandırılmıştır.

4.2. Araç Ekle/Düzenle Ekranı

Üniversitenin araç envanterine yeni bir araç eklenmesini veya mevcut araç bilgilerinin güncellenmesini sağlayan ekran, Şekil 2’de gösterilmektedir.

Şekil 2. Araç Ekle/Düzenle Ekranı

Kullanıcılar, plaka, ruhsat numarası, fenni muayene tarihi, sigorta tarihi, egzoz muayene tarihi, araç modeli, markası ve türü gibi bilgileri bu ekrandan sisteme girebilmektedir. Ayrıca, aracın bağlı olduğu birim bilgisi ve varsa ek açıklamalar da belirtilmektedir. Yapılan değişiklikler “Kaydet” butonuyla onaylanırken, işlemden çıkmak için “İptal” butonu kullanılmaktadır. Bu ekran, araç bilgilerinin güncel ve düzenli bir şekilde saklanmasını sağlayarak üniversitenin araç yönetim süreçlerini sistematik hale getirmektedir.

4.3. Kullanıcı Yönetim Ekranı

Şekil 3’te yer alan kullanıcı yönetim ekranı, sisteme erişim yetkisi bulunan kullanıcıların bilgilerini görüntülemek ve düzenlemek için geliştirilmiştir. Bu ekran, kullanıcıların ID numarası, adı, rolü (örneğin, Admin veya Araç İşleri), e-posta adresi ve sistemdeki durumunu takip etme olanağı sunmaktadır. Kullanıcı bilgileri “Düzenle” butonuyla güncellenebilirken, sistemden kaldırmak için “Sil” butonu kullanılmaktadır. Yetkilendirme süreçlerini hızlandıran bu ekran, veri güvenliğini sağlamak amacıyla yalnızca yetkili kullanıcıların erişimine izin vererek operasyonel kontrolü desteklemektedir.

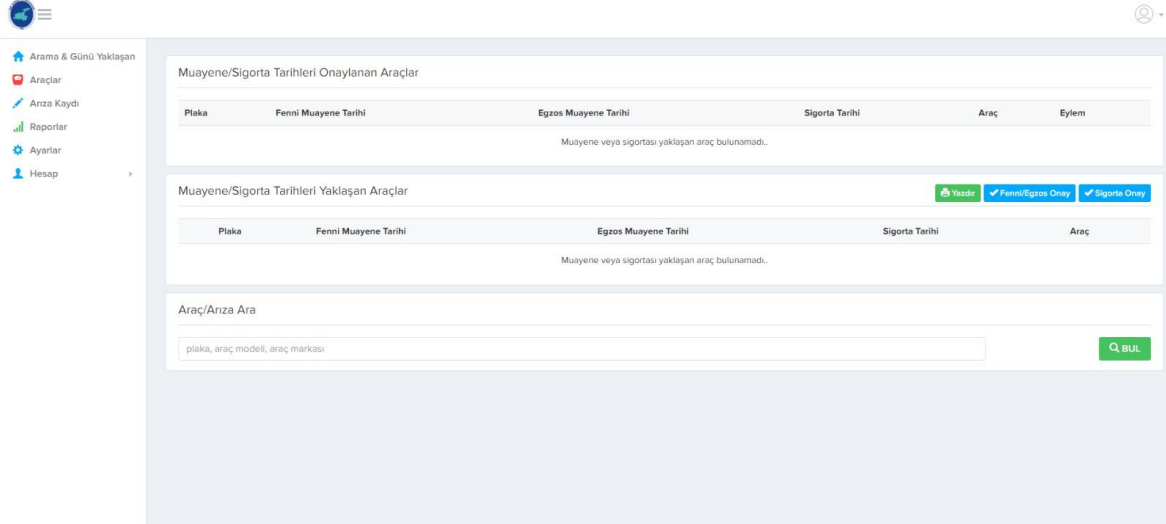
Kullanıcı ID	Kullanıcı Detayları			Durum	Eylem
	Kullanıcı Adı	Kullanıcı Tipi	E-Mail		
1	Erol Kina	Admin	erolkina@yyu.edu.tr	1	
2	Yapı İşleri	Yapı İşleri	yapisleri@yyu.edu.tr	1	
3	Araç İşleri	Araç İşleri	aracisleri@yyu.edu.tr	1	
4	emrebicek	Admin	emrebicek@yyu.edu.tr	1	
5	emrebicek	Admin	emrebicek@yyu.edu.tr	1	
6	Senan Taş	Yapı İşleri	csenancanmetin@gmail.com	1	
7	Nejdet Malkoç	Araç İşleri	nejdetmalkoc79@gmail.com	1	
8	ErolAdmin	Admin	erolAdmin@yyu.edu.tr	1	
9	AdminAdmin	Admin	adminadmin@yyu.edu.tr	1	

Şekil 3. Kullanıcı Yönetim Ekranı

4.4. Muayene/Sigorta/Emisyon Takip ve Araç Arama Ekranı

Araçların fenni muayene, sigorta ve egzoz emisyon tarihlerini düzenli olarak takip etmek için oluşturulan bu ekran, kullanıcıların yaklaşan ve onaylanmış işlemleri iki ayrı bölümde görmesine olanak tanır. Ayrıca, ekranın alt kısmında yer alan araç arama bölümü, plaka, model veya marka bilgilerine göre hızlı arama yapılmasını sağlar. Şekil 4'te bu ekranın düzeni detaylandırılmıştır.

"Yazdır" butonu ile rapor alınabilir ve muayene ile sigorta onay butonları sayesinde işlemler kolaylıkla tamamlanabilir. Bu ekran, araç yönetim sürecini düzenli hale getirirken kullanıcıların ihtiyaç duydukları bilgilere hızlı erişmelerini sağlayarak süreçlerin daha erişilebilir ve etkili olmasına katkıda bulunmaktadır.



Şekil 4. Muayene/Sigorta/Emisyon Takip ve Araç Arama Ekranı

4.5. Araç Listesi Ekranı

Şekil 5, üniversite envanterine ait tüm araçların detaylı bir şekilde görüntülenebildiği ekranı göstermektedir. Bu ekran, kullanıcıların araçlara dair ihtiyaç duyabileceği tüm bilgileri tek bir yerde toplar. Araçların ID numarası, plaka, ruhsat numarası, fenni muayene tarihi, sigorta tarihi, egzoz muayene tarihi gibi detayların yanı sıra, bağlı bulunduğu birim, model ve marka gibi bilgiler de bu listede yer almaktadır.

Liste, kullanıcıların hızlı ve etkili bir şekilde işlem yapabilmesi için "Eylem" sütunu ile desteklenmiştir. Bu sütundaki simgeler, bir aracın detaylarını görüntüleme, düzenleme veya sistemden kaldırma işlemlerine olanak tanır. Eğer yeni bir araç kaydedilecekse, "Yeni Araç Ekle" butonu kullanılabilir. Araç Listesi Ekranı, bilgilerin düzenli ve erişilebilir bir şekilde sunulmasıyla kullanıcıların araç yönetim süreçlerini kolaylaştırır ve daha verimli hale getirir.

ID	Plaka	Ruhsat No	Fenni Muayene Tarihi	Sigorta Tarihi	Egzos Muayene Tarihi	Birimi	Araç Modeli	Araç Markası	Araç Türü	Açıklama	Eylem
49	65NN930	168280	2023-04-05	2023-04-05	2023-04-05	REKTÖRLÜK MAKAMI	2009	AUDI	Binek		[Eylem]
50	65NA242	310276	2022-12-08	2022-09-27	2022-12-08	REKTÖRLÜK MAKAMI	2009	WOLKSWOGEN CARAVELLE	Binek		[Eylem]
51	65EA191	310165	2022-10-19	2022-12-15	2022-10-19	REKTÖRLÜK	2015	SKODA OCTAVIA	Binek		[Eylem]
52	65NY623	310167	2022-10-17	2022-10-04	2022-10-17	ARAÇLAR AMİRLİĞİ	2011	HYUNDAI ELENTRA	Binek		[Eylem]
53	65ED558	245806	2022-10-12	2022-11-23	2022-10-12	REKTÖRLÜK MAKAMI	2007	WOLKSWOGEN PASAT	Binek		[Eylem]
54	65NY622	310168	2022-10-15	2022-10-04	2022-10-15	ARAÇLAR AMİRLİĞİ	2011	HYUNDAI ELENTRA	Binek		[Eylem]
55	65AL145	310356	2022-11-12	2023-03-19	2022-11-12	PARK VE BAHÇELER	1997	DOĞAN SLX	Binek		[Eylem]
56	65EB107	310353	2022-05-06	2023-03-19	2023-05-06	ARAÇLAR AMİRLİĞİ	1997	DOĞAN SLX	Binek		[Eylem]

Şekil 5. Araç Listesi Ekranı

4.6. Filtreleme ve Araç Arama Ekranı

Kullanıcıların araçlara dair belirli kriterlere göre bilgiye ulaşmasını kolaylaştırmak için filtreleme ve arama özellikleri sunan bu ekran, plaka numarası, model, muayene veya sigorta tarihine göre arama yapılmasına imkân tanır. Arama sonuçları, araçların marka, model ve diğer detaylarını içeren bir liste olarak sunulmaktadır. Detaylı raporlama imkânı sunan bu ekran, büyük bir araç envanteri ile çalışmayı kolaylaştırır. Şekil 6'da bu ekranın düzeni verilmiştir.

Plaka	Filtre Tipi	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
Plaka Giriniz	Araç Filtrele	gg.aa.yyyy	gg.aa.yyyy

Plaka	Fenni Muayene Tarihi	Egzos Muayene Tarihi	Sigorta Tarihi	Araç
65NN930	2023-04-05	2023-04-05	2023-04-05	2009/AUDI
65NA242	2022-12-08	2022-12-08	2022-09-27	2009/WOLKSWOGEN CARAVELLE
65EA191	2022-10-19	2022-10-19	2022-12-15	2015/SKODA OCTAVIA
65NY623	2022-10-17	2022-10-17	2022-10-04	2011/HYUNDAI ELENTRA
65ED558	2022-10-12	2022-10-12	2022-11-23	2007/WOLKSWOGEN PASAT
65NY622	2022-10-15	2022-10-15	2022-10-04	2011/HYUNDAI ELENTRA
65AL145	2022-11-12	2022-11-12	2023-03-19	1997/DOĞAN SLX
65EB107	2022-05-06	2023-05-06	2023-03-19	1997/DOĞAN SLX
65AL187	2023-03-22	2023-03-22	2023-03-18	2012/WOLKSWOGEN GRAFTER
65KA669	2022-07-26	2022-07-26	2022-09-14	2019/TOYOTA HILUX (ÇİFT KABİN)
65EP311	2023-03-06	2023-03-06	2022-11-23	2010/HYUNDAI ACCENT ERA

Şekil 6. Filtreleme ve Araç Arama Ekranı

Yazılımın geliştirilmesi sonucunda, üniversitenin motorlu araç yönetimi dijitalleştirilerek daha sistematik, güvenli ve verimli bir hale getirilmiştir. Giriş ekranı ile kullanıcıların güvenli bir şekilde sisteme erişmesi sağlanırken, Araç Ekle/Düzenle ekranı sayesinde her aracın detaylı bilgileri kaydedilip güncellenebilmekte, böylece envanter yönetimi kolaylaştırılmaktadır. Kullanıcı Yönetim ekranı, yetkili personelin sistem erişimlerini yöneterek veri güvenliğini artırmaktadır. Muayene, Sigorta ve Emisyon Takip ekranı, araçların periyodik bakım ve muayenelerinin izlenmesini sağlamakta; yaklaşan işlemler için hatırlatmalar gönderilerek zamanında aksiyon alınmasına yardımcı olmaktadır. Araç Listesi ekranı, tüm araçları tek bir tabloda göstererek hızlı erişim sunarken, Filtreleme ekranı sayesinde belirli kriterlere göre araçların detaylı bilgilerine erişim imkânı tanınmaktadır. Tüm

bu özellikler, üniversitenin araç yönetim süreçlerini otomatikleştirerek iş yükünü azaltmakta, maliyetleri düşürmekte ve operasyonel verimliliği artırmaktadır.

4.7. Emisyon ve Verimlilik Analizi

Üniversitemizde bulunan araçlar, Binek Araçlar, Otobüs ve Minibüsler ve İş Makineleri olarak üç ana kategoriye ayrılmış ve araçlara ait günlük kullanım, yakıt tüketimi ve CO₂ salınımı gibi metrik veriler sistemli bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda, Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te araç filomuzun verimlilik ve çevresel etkilerine ilişkin hesaplamalar sunulmuştur. Bu analizler, araç takip sistemi ile elde edilen tasarruf ve enerji verimliliği iyileştirmelerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Binek Araçlara Ait Metrik Veriler

Araç Modeli ve Yılı	Motor Tipi	Araç Adedi	Şehir İçi (lt/100 km)	Şehir Dışı (lt/100 km)	Ortalama (lt/100 km)	CO ₂ Salınımı (kg/100 km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg/100 km)
2009 Audi A4	2.0 TDI 170 bg	1	7.1	4.9	5.7	15.05	15.05
2009 Volkswagen Caravelle	2.0 TDI 140 bg	1	9.6	6.3	7.5	19.8	19.8
2015 Skoda Octavia	1.6 TDI 110 bg	1	4.5	3.3	3.8	10.03	10.03
2011 Hyundai Elantra	1.6 MPI 132 bg	2	8.4	5.4	6.5	17.16	34.32
2007 Volkswagen Passat	2.0 TDI 140 bg	1	7.5	4.9	5.9	15.58	15.58
1997 Tofaş Doğan SLX	1.6 Karbüratörlü	3	12.0	7.0	9.0	23.76	71.28

Tablo 2. Otobüs ve Minibüslere Ait Metrik Veriler

Araç Modeli ve Yılı	Motor Tipi	Araç Adedi	Şehir İçi (lt/100 km)	Şehir Dışı (lt/100 km)	Ortalama (lt/100 km)	CO ₂ Salınımı (kg/100 km)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg/100 km)
2011 Ford Transit Jumbo	2.4 TDCi 115 bg	1	11.0	7.5	8.8	23.23	23.23
1998 Ford LCY Minibüs	2.5 D 76 bg	1	12.0	8.0	9.5	25.08	25.08
2011 Mercedes-Benz Turismo	10.7 L 428 bg	1	30.0	20.0	25.0	66.0	66.0
1991 Mercedes-Benz O303	11.0 L 280 bg	2	35.0	25.0	30.0	79.2	158.4
2015 Otokar Kent 290 U	6.7 L 290 bg	1	35.0	25.0	30.0	79.2	79.2
2014 Otokar Sultan Mega	5.9 L 190 bg	1	20.0	15.0	17.0	44.88	44.88
2013 Isuzu S8013 Otobüs CA	5.2 L 190 bg	2	22.0	16.0	18.5	48.84	97.68

Tablo 3. İş Makinelerine Ait Metrik Veriler

Araç Modeli ve Yılı	Motor Tipi	Araç Adedi	Yakıt Tüketimi (lt/saat)	CO ₂ Salınımı (kg/saat)	Toplam CO ₂ Salınımı (kg/saat)
2006 Caterpillar Greyder	7.2 L 200 bg	1	15.0	39.6	39.6
2007 CAT 434E Kanal Kazıcı	4.4 L 100 bg	1	10.0	26.4	26.4
1990 Fiat 70-46 DT	3.9 L 70 bg	2	8.0	21.12	42.24
1985 Steyr 8073	3.3 L 72 bg	3	8.0	21.12	63.36
1998 BMC Kamyon (Çöp Aracı)	6.0 L 180 bg	1	21.0 (lt/100 km)	55.44	55.44

1999 BMC (İtfaiye Aracı)	6.0 L 180 bg	1	21.0 (lt/100 km)	55.44	55.44
2009 Ford Cargo 2524 Kamyon	7.3 L 240 bg	1	25.0 (lt/100 km)	66.0	66.0

Araç filomuzda bulunan toplam 48 araç için 6 aylık kullanım verileri analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, araç takip sistemi uygulaması sayesinde gereksiz kullanım oranlarının azaltıldığı ve periyodik bakım gibi teknik önlemlerle yakıt tüketiminin optimize edildiği tespit edilmiştir. Araçların günlük ortalama kullanım verileri doğrultusunda, sistematik yönetim uygulamalarının enerji verimliliği ve çevresel etkiler üzerindeki olumlu sonuçları değerlendirilmiştir. Tablo 4'te, araç takip sistemi öncesi ve sonrası 6 aylık verilerin karşılaştırmalı analizi sunulmuştur.

Tablo 4. Araç Takip Sistemi Öncesi ve Sonrası Araç Verimliliğinin Karşılaştırması

Nitelik	Binek Araçlar	Otobüs/Minibüsler	İş Makineleri	Toplam
Günlük Kullanım Takip Sistemi Öncesi (km)	40	60	15	-
Günlük Kullanım Takip Sistemi Sonrası (km)	35	50	12	-
6 Aylık Kullanım Azalımı (km)	900	1.800	540	3.240
Yakıt Tüketimi Takip Sistemi Öncesi (litre)	1.222.75	1.141.34	68.85	2.432.94
Yakıt Tüketimi Takip Sistemi Sonrası (litre)	1.068.86	951.12	55.08	2.075.06
6 Aylık Yakıt Tasarrufu (litre)	153.89	190.22	13.77	357.88
Bakım Maliyeti Öncesi (₺)	12.000	15.000	5.000	32.000
Bakım Maliyeti Sonrası (₺)	10.800	13.500	4.500	28.800
6 Aylık Bakım Tasarrufu (₺)	1.200	1.500	500	3.200

Yapılan analizler sonucunda yaklaşık %9 oranında enerji verimliliği sağlanmış, toplam yakıt tüketimi ve karbon emisyonu değerlerinde anlamlı azalmalar elde edilmiştir. Özellikle düzenli periyodik bakım süreçlerinin, araç motor performansı ve yakıt tüketimi üzerinde iyileştirici etkileri gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlar, sürdürülebilir enerji yönetimi ve çevresel etkilerin azaltılması bağlamında üniversite araç filosunun optimize edilmesi için önemli bir adım teşkil etmektedir. Tablo 4'te detaylarına yer verildiği üzere, 6 aylık süreçte toplam 357.88 litre yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Bir litre motorinin yanması sonucu yaklaşık 2.64 kg CO₂ salınımı gerçekleştiği göz önüne alındığında, bu tasarruf ile 944.80 kg CO₂ salınımının önüne geçilmiştir. Bu sonuç, çevresel etkilerin azaltılması açısından önemli bir kazanım olarak değerlendirilmektedir.

5. Tartışma ve Sonuç

Bu proje kapsamında geliştirilen araç kayıt ve takip sistemi, üniversitenin motorlu araç yönetiminde önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Sistem, araçların kayıt ve takip işlemlerini dijital ortamda gerçekleştirerek manuel yöntemlere kıyasla zaman açısından büyük tasarruf sağlamıştır. Araç kayıtları, bakım ve muayene tarihleri gibi periyodik ihtiyaçlar sistem üzerinden otomatik olarak takip edilmiş, bu sayede personelin iş yükü azalmıştır. Ayrıca, araçların tüm bilgileri tek bir platformda toplanarak yönetim süreci daha sistematik hale gelmiştir.

Projenin maliyet azaltımı üzerindeki etkisi de dikkat çekicidir. Sistem, bakım ve yakıt gibi masrafların detaylı analizine olanak tanıyarak maliyet yönetiminde etkin bir araç olarak kullanılmıştır. Araçların periyodik bakımlarının düzenli yapılması, erken uyarı sistemi ile zamanında müdahaleyi sağlanmış ve böylece beklenmedik bakım maliyetleri önemli ölçüde düşürülmüştür. Yakıt tüketimi verilerinin takip edilmesi sayesinde enerji verimliliği artırılmış ve gereksiz yakıt harcamalarının önüne geçilmiştir.

Geliştirilen yazılımın güvenlik altyapısı da önemli bir avantaj sunmaktadır. Veri güvenliği, MD5 şifreleme ve yetkilendirme sistemleri ile sağlanmış, kullanıcı bilgileri ve araç verileri güvenli bir şekilde saklanmıştır. Ayrıca, erişim kontrolü ve KVKK uyumlu veri yönetimi sayesinde yalnızca yetkili personelin kritik verilere ulaşabilmesi sağlanmıştır. Kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan yazılım, kullanıcıların sisteme hızlı bir şekilde adapte olmalarını sağlamış ve işlemleri kolaylaştırmıştır. Araç kayıt, güncelleme, bakım ve arıza kaydı oluşturma gibi işlemlerin pratik bir şekilde yapılabilmesi, kullanıcı memnuniyetini artırmıştır. Web tabanlı yazılımın, masaüstü bilgisayar, dizüstü bilgisayar, tablet veya mobil cihaz gibi farklı cihazlardan erişim imkânı sunması da işlemleri esnek hale getirmiştir.

Sistem, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine de önemli katkılar sağlamıştır. Enerji verimliliği modülü sayesinde araçların yakıt tüketim ve emisyon verileri kayıt altına alınmış, bu veriler analiz edilerek çevresel etkiler düzenli olarak izlenmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik açısından 6 ayda toplam 357.88 litre yakıt tasarrufu sağlanmıştır. Buradan toplamda 944.80 kg CO₂ salınımının önüne geçilmiştir. Böylece üniversitenin karbon ayak izini azaltmaya yönelik hedeflerine katkı sağlanmış ve çevre dostu stratejilerin geliştirilmesine olanak tanınmıştır. Bu sistemin uygulanması, yalnızca çevresel etkileri azaltmakla kalmamış, aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilirlik stratejilerine yönelik somut adımlar atılmasını sağlamıştır.

Son olarak, sistemin diğer kurumlar için de örnek teşkil edebilecek bir model haline geldiği görülmüştür. Üniversitede başarıyla uygulanan bu yazılım, farklı ihtiyaçlara göre özelleştirilebilir yapısıyla yaygın bir kullanım potansiyeli sunmaktadır. Bu bulgular, üniversitenin araç yönetim süreçlerinde önemli gelişmeler sağlandığını ve proje hedeflerinin başarıyla gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından “FYD-2024-10891” numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, projeye sağladığı değerli destekten dolayı BAP Koordinasyon Birimi’ne içten teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

1. **Abid, M. H., Islam, A., Biswas, A. D., & Talin, I. A. (2022).** IoT-BASED VEHICLE TRACKING SYSTEM FOR KHULNA UNIVERSITY. *Khulna University Studies*, 925–935.
2. **Ahmed, M. K., Islam, M. A., Iqbal, M. A., & Hossain, M. A. (2024).** A Cross-Platform Vehicle Tracking System for Pabna University of Science and Technology with Android and Web Interfaces: A Cross-Platform Vehicle Tracking System. *International Journal of Imminent Science & Technology*, 2(2).
3. **Dandil, E., & Demir, E. (2020).** Gerçek Zamanlı Araç Hız Ölçümü ve Takip Sistemi Tasarımı. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(1), 13–27.
4. **Desai, M., & Phadke, A. (2017).** Internet of Things based vehicle monitoring system. *2017 Fourteenth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)*, 1–3.
5. **Jimoh, O. D., Ajao, L. A., Adeleke, O. O., & Kolo, S. S. (2020).** A vehicle tracking system using greedy forwarding algorithms for public transportation in urban arterial. *IEEE Access*, 8, 191706–191725.
6. **Khin, J. M. M., & Oo, N. N. (2018).** Real-time vehicle tracking system using Arduino, GPS, GSM and web-based technologies. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 7(11), 433–436.
7. **Koca, M. (2024).** Real-time Security Risk Assessment from CCTV using Hand Gesture Recognition. *IEEE Access*.
8. **Lee, S., Tewolde, G., & Kwon, J. (2014).** Design and implementation of vehicle tracking system using GPS/GSM/GPRS technology and smartphone application. *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 353–358.
9. **Maruthi, R., & Jayakumari, C. (2014).** SMS based bus tracking system using open source technologies. *International Journal of Computer Applications*, 86(9).
10. **Mimbala, A., Macre, N., Maunga, N., & Acala, A. (2024).** Web-Based Vehicle Monitoring System of Mindanao State University Lanao Del Norte Agricultural College. *Psychology and Education: A Multidisciplinary Journal*, 22(7), 863–888.
11. **Nebati, E. E. (2024).** Yalın Tedarik Zinciri Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 33(2), 968–978.
12. **Pathan, M. M., & Bongale, U. A. (2022).** Design And Implementation Of Real-Time Web-Based Vehicle Tracking System Using Sim. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 2822–2828.
13. **SAYIN, A. A., & ÖZCAN, M. (2024).** LOJİSTİK SEKTÖRÜNDE BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ– ECZA DEPOSU UYGULAMA ÖRNEĞİ. *The Journal of Social Sciences*, 43, 314–322.
14. **Şengül, Ü., & Selvi, B. (2021).** HIZLI TÜKETİM ÜRÜNLERİNİN LOJİSTİĞİNDE KULLANILAN ELEKTRONİK SİSTEMLER VE ENDÜSTRİ 4.0: BALIKESİR İLİ ÖRNEĞİ. Çanakkale Onsekiz Mart University.
15. **Shibghatullah, A. S., Jalil, A., Wahab, M. H. A., Soon, J. N. P., Subaramaniam, K., & Eldabi, T.**

- (2022). Vehicle tracking application based on real time traffic. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, 11(1), 67–73.
16. **Ulugöl, S., & Bilgili, A. (2024).** Yerel yönetimlerde “ortak alanlar trajedisi” kavramı: Şanlıurfa büyükşehir belediyesi örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27(51), 127–142.

A STUDY ON THE APPLICATION OF XERISCAPE IN ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT UNIVERSITY

Deniz Karaelmas^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma MYO, Tasarım Bölümü, 67900, Zonguldak

Abstract

Xeriscape is a landscape design approach used in regions where water is limited and vegetation must adapt to these conditions. This approach, which is based on water conservation and low maintenance costs, is of great importance in arid regions or areas where water resources are scarce. Rock gardens, as an example of xeriscape, offer sustainable solutions in both aesthetic and ecological terms. In this context, a rock garden project was produced in the garden of the Engineering Building at the Farabi Campus of Zonguldak Bülent Ecevit University (BEUN). This project was designed and implemented using AutoCAD and Lumion programs. In the first stage, detailed plans and project drawings of the rock garden were made with the AutoCAD program. At this stage, stone placement, plant selection and layout plans were created in accordance with the topography of the area. Then, 3D modeling of the design was made using the Lumion program and the visualization phase was started. Lumion provided fast high-quality visuals and was presented to the university administration. The project drawing and implementation took approximately 4 months. The conversion of a heavily used area into a Xeriscape in order to contribute to the creation of a sustainable urban green texture on campus is an example of climate-compatible practices and future practices that have been addressed within the scope of sustainable campuses.

Keywords: BEUN, Xeriscape, Rock Garden, Landscape Design

1.Introduction

In today's world, as water resources deplete rapidly due to global warming and climate change, drought and water scarcity have become critical issues. The use of plant species that require high amounts of water in landscaping increases the need for irrigation, leading to even greater water consumption. Therefore, in recent years, there has been a growing need for xeriscape design in landscaping areas. Xeriscaping focuses on drought-resistant plants and water-efficient practices, helping to conserve water and support environmental sustainability, offering a crucial solution to mitigate the impact of climate change on water resources (Gemici, 2023).

With the intensifying impact of global climate change, water consumption for maintaining plant life and sustainability in urban green spaces has reached critical levels. This situation has highlighted the need for more effective and strategic water management practices (Cengiz, 2013; Açıksöz et al., 2014). In recent years, water problems experienced in our country as well as all over the world have increasingly increased the importance of the arid landscape approach, which aims at the effective use of water in urban open green areas. Especially in conditions where water resources are limited, the preference of arid landscape applications and the implementation of sustainable landscape designs aimed at creating areas with low maintenance costs contribute to the formation of a nature-compatible and high-quality vegetation (Sezen et al., 2018; Çorbacı & Ekren, 2022, İlhan et al., 2024).

In recent years, design strategies that prioritize efficient water use have become favored, particularly in urban landscaping, to help reduce water consumption. One such strategy is arid landscape design. This approach is typically defined as a landscape design method that focuses on minimizing water usage and preserving both water resources and the environment (Sezen et al., 2018; Gemici, 2023). Utilizing natural vegetation is one of the prominent principles within the xeriscape approach (Ismail and Sobaih 2022). In the process of climate change, some regions experience water scarcity and drought, while some regions are exposed to floods due to irregular rainfall regimes. With the increase in impermeable surfaces in urban areas, groundwater cannot be fed sufficiently

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):** Deniz KARAELMAS;
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma MYO, Tasarım Bölümü, 67900,
Zonguldak, TÜRKİYE.

Geliş (Received) : 13.11..2024
Kabul (Accepted) : 12.12.2024
Basım (Published) : 31.12.2024

and dries up. The increasing demand for water and the threats faced by water resources have drawn attention to the use of water in every area (Ünal Çilek, 2022).

Xeriscape principles stand out with their environmentally friendly approach as well as water saving and contribute to the protection of freshwater resources lost as a result of global warming in the long term by reducing water consumption (Cengiz vd., 2011). There are 7 principles in xeriscape applications. 1) Planning and design 2) Soil preparation 3) Appropriate plant selection 4) Creation of grass areas 5) Effective irrigation 6) Use of mulch 7) Maintenance and pruning stages affect success. To briefly explain these, *Proper Planning and Design*; Creating a landscape that uses water efficiently starts with a well-thought-out planning and design. For this, first of all, the current situation and environmental uses should be determined, the structural and plant materials in the area should be determined, shading conditions, and expectations from the area should be determined on a plan (Hersek and Korkut, 2021; Selim et al., 2021). *Soil analysis and preparation*: Plants need a growing environment rich in organic matter to grow and develop healthily. At this stage, as in other landscape arrangements, in arid landscape arrangements, the soil, the richness of the soil in organic matter and the presence of the necessary plant nutrients are one of the important components (Ünal Çilek, 2022). *Appropriate plant selection*; In arid landscape studies, it should be preferred to use the existing plants on the area by protecting them. For this reason, designs that will be suitable for the development of developed and healthy plants to remain in the area should be made with the plant survey study to be carried out. At the same time, the use of natural vegetation is one of the important design strategies (Cengiz et al., 2021). *Creation of Lawn Areas*; Lawn areas are the plant element that needs water the most due to their physical structure. For this reason, when creating lawn areas in arid landscape applications, if they are suitable for the region, warm climate grass plants should be selected and placed in areas where recreational activities are carried out intensively in a way that they will take up less space (Çetin and Mansuroğlu, 2018). *Effective Irrigation*; There are three methods in irrigation, which is one of the most important parameters that determine the success of arid landscape applications. These methods are drip and sprinkler irrigation methods. In order to provide the most effective irrigation in the area, pressurized irrigation systems and drip irrigation systems should be used, and irrigation should be programmed to control the time and amount of irrigation (Kavuran and Yılmaz, 2022; Ayanoğlu and Demirel, 2023). *Use of mulch*; mulch is generally organic (branch, needle, trunk bark, root pieces, crushed leaves, etc.) or inorganic (rock, gravel, dolomite stone, pumice, marble pieces, etc.) materials used to cover the soil surface and maintain soil moisture and temperature. Mulch is not a fertilizer or compost. Therefore, it is not mixed into the soil, it is spread (Ministry of Agriculture and Forestry, 2024). *Maintenance and Pruning*; As with all landscape areas, maintenance is crucial for preserving the characteristics of the area and ensuring its long-term sustainability. Based on climatic conditions and the specific traits of the plants used, maintenance tasks like pruning, fertilization, weed removal, and pest and disease control must be performed in a timely and technical manner. Additionally, careful attention to the irrigation system is essential to maintain and enhance the quality of the arid landscape (Çorbacı and Ekrem, 2022).

2. Materials and Methods

2.1 Material

Zonguldak is a province in the Western Black Sea Region, with a western and northern coast to the Black Sea. With a surface area of 3,310 km², it covers six per thousand of Turkey's land. The provincial lands, starting from the Black Sea coast, are surrounded by the Black Sea to the north, Bartın to the northeast, Karabük to the east, Bolu to the south, and Düzce to the west. Zonguldak has a very rugged terrain; 56% of the provincial area is covered with mountains, 31% with plateaus, and 13% with plains (Url-1).

56% of the provincial lands are forested (194,075 ha), 88% of which are groves and 12% are coppice forests. Fagus forests are in the regional forests, which are a natural arboretum with their rich vegetation within our country's forests. *Carpinus Betulu*, *Castanea sativa*, *Platanus orientalis L.*, *Tilia L.*, *Alnus* 70% broad-leaved, mainly *glutinosa*; *Pinus nigra Arnold.*, *Pinus silvestris L.*, *Pinus brutia Ten.* and *Pinus Pinaster*. there are 30% needle-leaved forests, including Aiton. The region, which has rainfall in every season, is covered with needle-leaved species at higher altitudes, while the lower areas are covered with leafy species. This main green tissue is *Rhododendron ponticum*, *Quercus ilex*, *Ilex aquifolium*, *Laurus nobilis*, *Arbutus unedo*, *Cornus mas*, *Prunus avium*, *Erica Arborea*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Rosa canina*, *Rubus fruticosus*. It is complemented by understory vegetation such as *vesca* (Url-1).

The main material of the study is BEUN Farabi Campus. Approximately 12,090 students study on the campus located in the city center. The campus has a total area of 200,917 m² of this area is the building area. There is a total of approximately 79,600 m² of green space (Fig. 1).

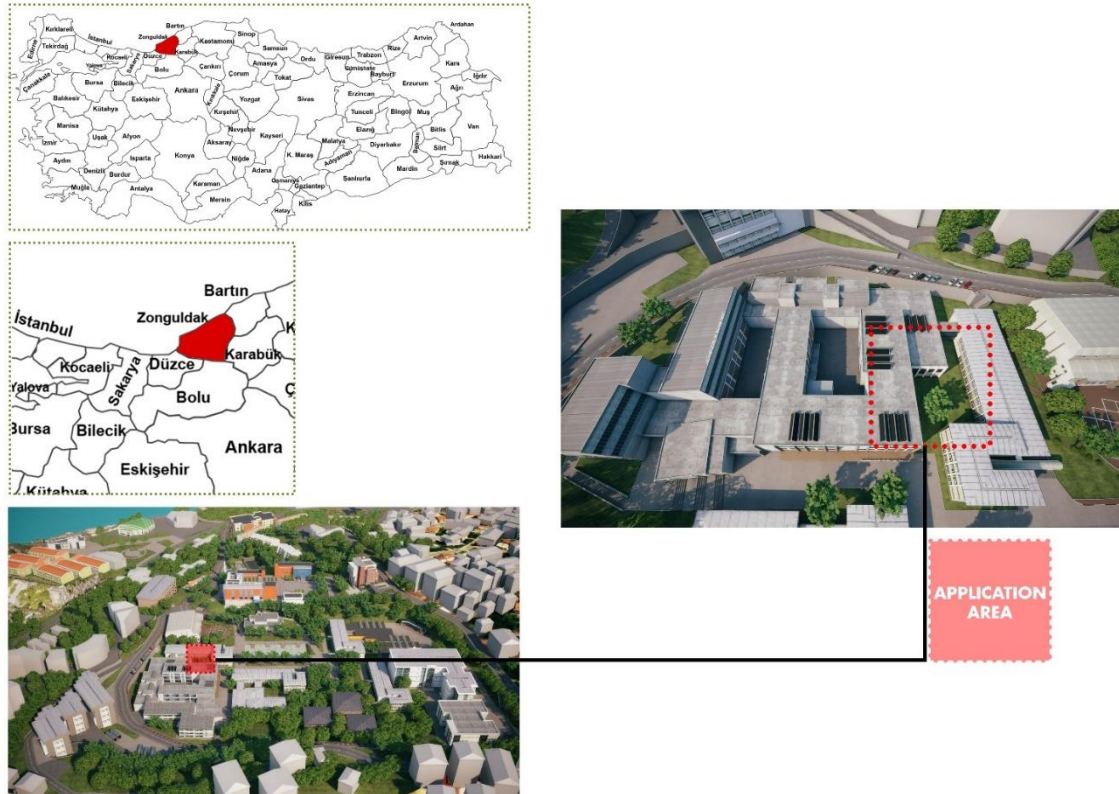


Fig 1. Zonguldak Bülent Ecevit University Farabi campus application area.

The study started with the emergence of the need for landscaping of the engineering building garden located in the Farabi campus and the creation of a demand in this regard with the decision of the rectorate. The method of the study consists of three stages: planning and area analysis, landscape design project and implementation stage. In the planning and area analysis phase, area needs and environmental research were conducted to determine the design approach. Within the scope of the climate compatible design approach, written and visual resources were researched and data were evaluated in line with their suitability for the area.

In the landscape design project phase, a rock garden design project was created as an arid landscape approach within the scope of the determined needs and requirements. In addition, it was emphasized that it was in an approach that also provided opportunities for daily use. In line with the determined needs, 3 draft projects were created and presented to the rectorate unit. As a result of the evaluations, the determined project was finalized and detailed. In the final stage, the detailed project was handled in two separate sections, plant and structural. The final stage was completed by determining the accessories and plants to be used within the scope of the design. The project was created in May 2024 and its implementation was completed in September 2024. During the study, proposal projects were prepared and in line with the finalized project, the implementation project and details were created. Auto-Cad was used in the design stage and Lumion and sketch-up software were used in the presentation and visualization stages.

3.Results and Discussion

Within the scope of the study method, firstly the site plan of the research area was obtained and current situation analyses were made. It was determined that the area was surrounded by buildings, had insufficient vegetation and poor soil in terms of organic matter.

The research area was directly connected to the users of the Faculty of Engineering, indirectly connected to the users of the Medico social unit, and it was determined that it was an area for the use of all campus users. The needs of the users of the area, the functions to be used in the project and the objectives of the landscape (Fig. 2).

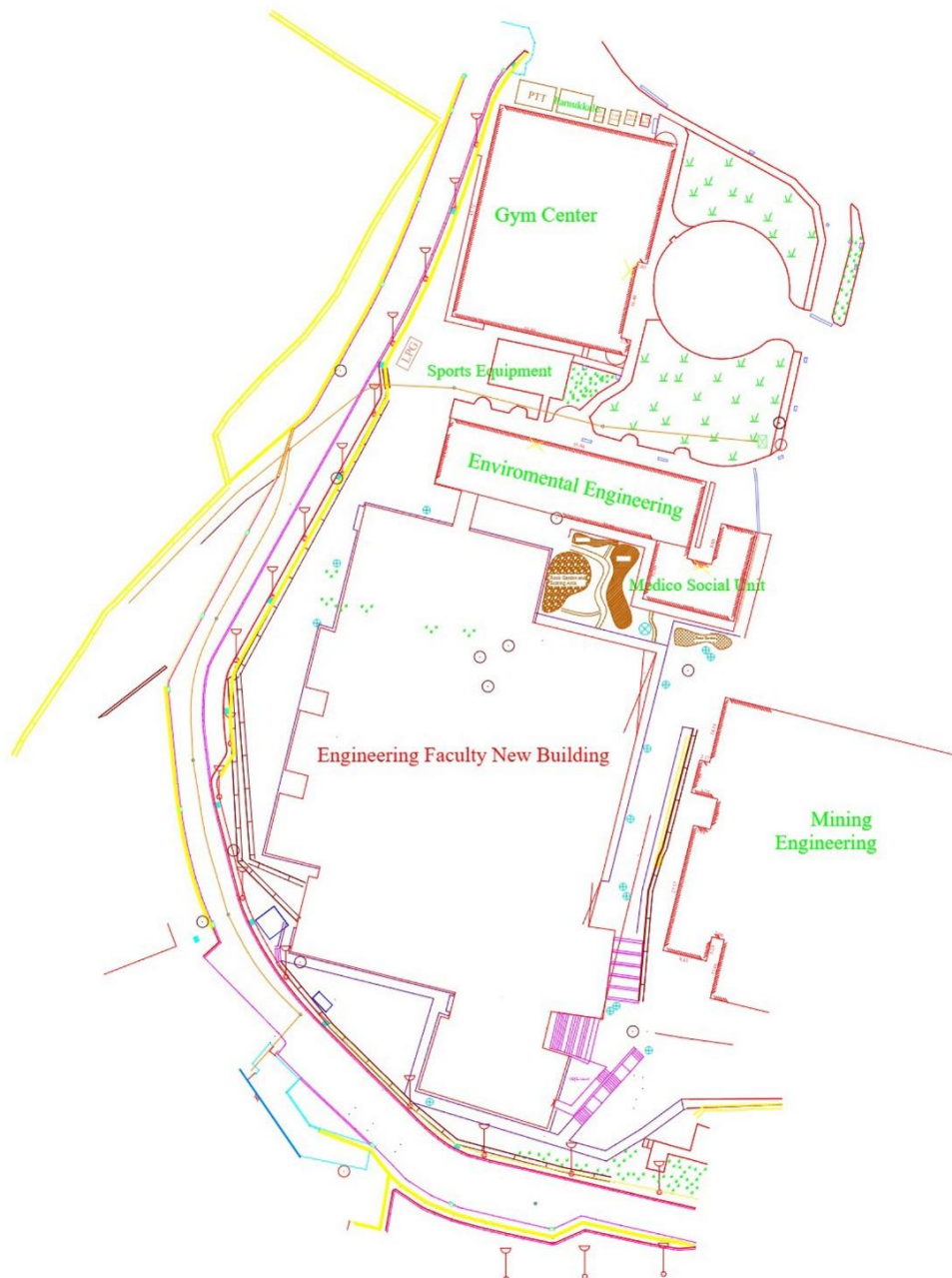


Fig. 2 View of the area from the concept project

Of the area where xeric landscaping will be done, main roads, plant areas, seating areas and lighting locations have been determined. After the technical details such as the clarification of plans, sections and detail drawings, planting intervals of the plants, and the properties of the materials were determined, the quantities of all materials to be used, the number of plants and other needs were calculated.

Plants planted in this area: *Hypericum calycinum*, *Prunus laurocerasus*, *Euonymus japonicus 'Variegata'*, *Buxus sempervirens*, *Festuca glauca*, *Lavandula angustifolia*, *Buxus sempervirens*, *Thuja occidentalis 'Pyramidalis'*, *Pyracantha coccinea*, *Spiraea japonica*, *Ligustrum vulgare*, *Berberis thunbergii*, *Hydrangea macrophylla*, *Cotoneaster horizontalis*, *Syringa vulgaris*, *Lavandula angustifolia*, *Gaura sp.*, *Phormium tenax*, *Phormium tenax 'Variegatum'* and *Calluna vulgaris*.

There are 2 covered benches and a pergola in the area. The paths connecting the reinforcement elements are paved with grass stone. 45 m² of grass stone was used. 7 pieces of 10 cm daylight wallwasher were used for lighting (Fig. 3).



Fig. 3 Lumion views of the area

First, rock stones were brought to the area from Elvanpazarcık-Zonguldak district and placed in their places according to the plan. Plants were brought from Yalova and planted in the area. After planting, lighting locations were determined, wall washers were placed in their places and the laying of grass stones began. Finally, the 4-grass mixture was planted in the area. The finished state of the area is shown in Fig. 4, day and night views.

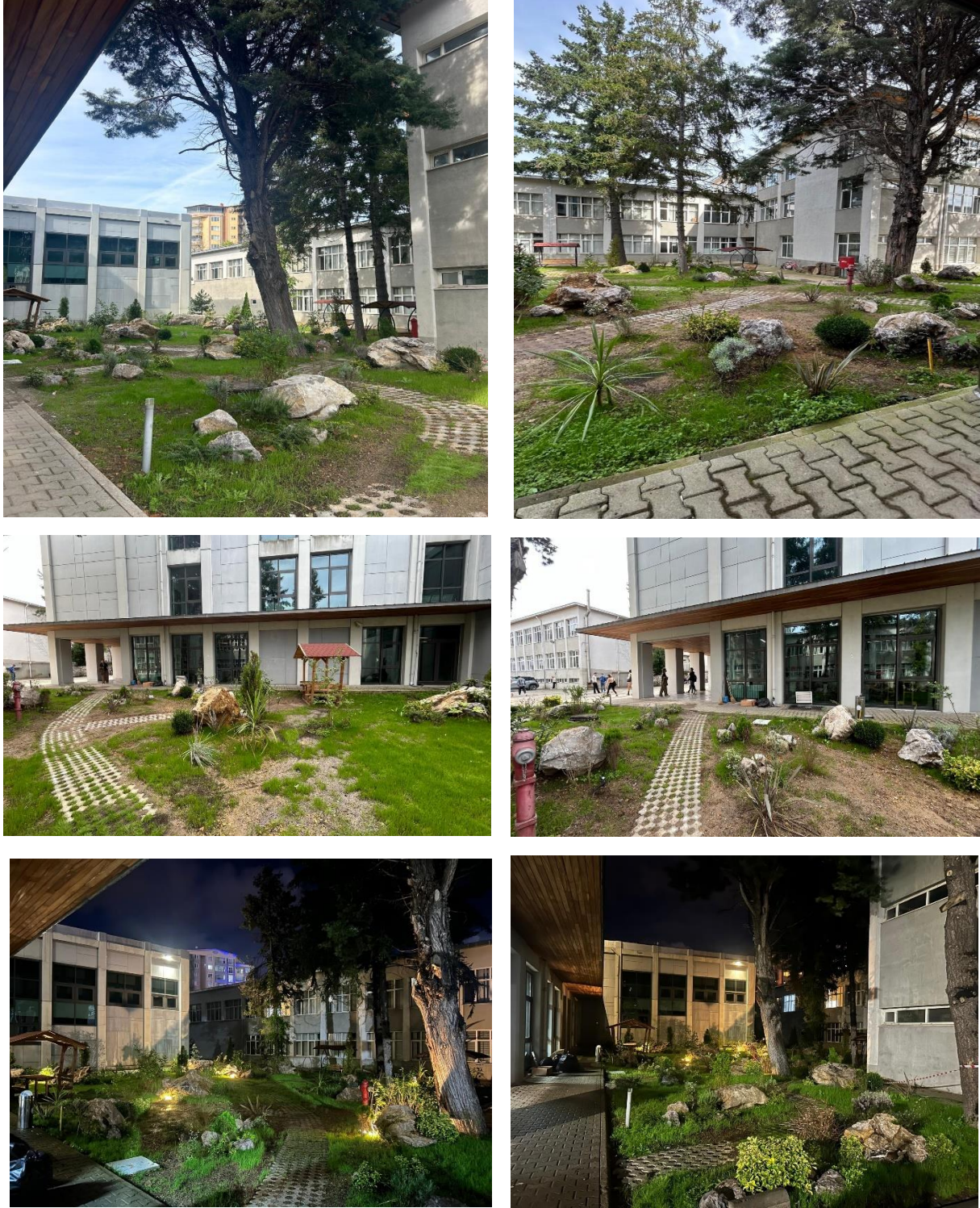


Fig. 4 Day and night views of the area after application

Conclusions

The implementation of arid landscape arrangements in areas with high density use such as university buildings is important in terms of managing the water crisis in landscape studies and developing regional recommendations. In this context, this study, unlike previous studies, aimed to determine how water consumption in areas containing landscape arrangements in BEUN changes with the increase in the arid landscape design rate.

In response to changing climate conditions and rising drought levels, it has become essential to adopt certain measures. Conserving water and safeguarding water resources are now more important than ever. Among natural disasters, drought is seen as one of the most critical threats to humanity. The supply of water, a vital and irreplaceable resource, is diminishing with each passing day. When the climate data of Zonguldak province is examined, it is stated that the province is under the influence of the mild Black Sea climate and that there is no dry season in Zonguldak, which is rainy and warm in every season. However, global warming and climate change are creating serious changes in the climate of Zonguldak, as in many cities of our country. There have been decreases in the annual rainfall amount of the city and high temperature values have started to be recorded in recent years.

BEUN has aimed to create green and environmentally friendly campuses, and it is important to see the results of investments in energy saving, projects related to waste management, and elective courses for environmental awareness in all educational units, social responsibility projects and other efforts in terms of sustainable campus designs and applications. Quality is a priority in the services that BEUN offers to its students and all stakeholders. As an indicator of this understanding, initiatives to increase the quality of life in the campuses and the city continue. Creating environmental awareness and providing livable environments to students and staff is an indicator that a culture of respect for the environment has been established at BEUN.

The project and its objectives proposed in the study are important not only for campus areas but also for the management of limited water resources in urban landscape arrangements. Future studies should be carried out by considering irrigation zones and water resources used in irrigation. In a world where water problems are increasing and water wars and migrations are predicted, it is an inevitable fact that studies should be increased to raise public awareness on this issue. Lessons and information meetings should be held on the importance of water in all education and training processes starting from primary school.

Rock gardens have an important place in today's landscape design with their aesthetic contribution and low maintenance requirements. These gardens, which provide both an aesthetic appearance and an environmentally friendly solution, increase the quality of recreational areas when designed correctly. Thanks to drought-resistant plants and durable rocks, rock gardens both save water and create a long-lasting landscape. Rock gardens are considered a sustainable alternative that can be integrated into both modern and traditional landscape designs.

“Note” This study was carried out in 2024, in line with the request of the Zonguldak Bülent Ecevit University Rectorate, with the landscape project studies prepared by Asst. Prof. Dr. Deniz Karaelmas.

References

1. Aciksoz, S., Cengiz, B., Bekci, B., Cengiz, C., Cengiz Gokce G. (2014). The planning and management of green open space system in university campuses: Kutlubey Yazıcılar Campus of Bartın University, Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty, 14:2, 222-236.
2. Ayanoglu, Z., & Demirel, K. (2023). Comparison of Xeriscape and Classical Landscape Design: Residential Garden Example. *Turkish Journal of Landscape Research*, 6 (2), 156-176.
3. Cengiz, B., Sabaz, M. and Saribas, M. 2011. “The some use natural crataegus L. (Hawthorn) taxa from western Black Sea Region of Turkey for landscape applications,” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 20, no. 3, pp. 938–946.
4. Cengiz, C. 2013. Urban ecology. M. Ozyavuz (Ed.), *Advances in Landscape Architecture*, InTech.

5. **Cengiz, C., Cengiz, B., & Boz, A. Ö. (2021).** Climate -Smart landscapes for sustainable cities. In M. Ben Ahmed, İ. Rival Karas, D. Santos, O. Sergeyeva, & AA Boudhir (Eds), Innovations in Smart Cities Applications Volume 4: The Proceedings of the 5th International Conference on Smart City Applications (pp . 571-582). Cham, Switzerland: Springer.
6. **Çetin, N. & Mansuroğlu, S. (2018).** Determination of Plant Species to be Used in Xerophytic Landscape Arrangements in Mediterranean Conditions: Antalya/Konyaaltı Example. *Journal of Ege University Faculty of Agriculture*, 55(1), 11-18.
7. **Çorbacı, Ö.L. & Ekren, E. (2022).** Evaluation of urban open green areas in terms of xeric landscape: Ankara Altınpark Example. *Journal of Landscape Research and Applications*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/10.56629/paud.1137410>
8. **Gemici, R. O. (2023).** Investigation of Selcuk University Alaeddin Keykubat Campus in Terms of Xeriscape Design. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 11 (p1), 2614-2619.
9. **Hersek, G. & Korkut, A. (2021).** Analysis of Tekirdağ Namık Kemal University Campus in the Context of Xeriscaping Landscape Design. *Artium*, 9(1), 1-10.
10. **Ismaeil, E.M., & Sobaih, AEE (2022).** Assessing xeriscaping as a retrofit sustainable water consumption approach for a desert university campus. *Water*, 14 (11), 1681.
11. **İlhan, Ö., Akat, H., & Saraçoğlu, Ö. A. (2024).** Plant Applications Implemented Within the Scope of the Conversion to Dryland Landscape Project: The Case of Muğla-Ortaca District. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 11 (104), 570-582.
12. **Kavuran, D., & Yılmaz, R. (2022).** Selection of Appropriate Plant Species in Xeriscape Studies: Süleymanpaşa, Tekirdağ Example. *Landscape*, 4 (2), 69-91.
13. **Köle, MM (2014).** Water Resources Management Models in the Republican Period on Ankara Sample. *Turkish Journal of Social Sciences*, 181 (181), 69-86.
14. **Selim, C., Bayrak, G., & Doksöz, S. (2021).** Xeriscaping design proposal for an urban park: Antalya Serdengeçti Park. *Mehmet Akif Ersoy University Journal of the Institute of Science*, 12 (1), 76-91.
15. **Sezen, I., Esringu, A. & Yardımcı, KS (2018).** Water efficient use for sustainability of water resources in urban areas: Xeriscape. *Urban Academy*, 11(4), 474-485
16. **Agriculture and Forestry, (2024).** Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management. Xeriscape Applications. Guide Document.
17. **Unal Cilek, M. (2022).** Seven steps of xeric landscape design: Arizona State University campus. *ArtGRID*, 4(2), 222-239
18. **Url1.2024.**<http://www.zonguldak.gov.tr/cografya#:~:text=Zonguldak%2C%20Bat%C4%B1%20Karadeniz%20B%C3%B6lgesi'nde,Bolu%2C%20bat%C4%B1da%20D%C3%BCzce%20illeriyle%20%C3%A7evrilidir> . Access date 10.10.2024.

BOLU KENT ORMANI' NIN REKREASYON POTANSİYELİNİN VE GÖRSEL PEYZAJ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Başak Ertem Mutlu^{1*}, Bülent Cengiz²

¹Dr. Peyzaj Mimarı, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0394-4950)

²Prof. Dr., Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Bartın, Türkiye (ORCID: 000-0001-6647-2324)

ÖZET

Bu çalışmada, Bolu Kent Ormanı'nın mevcut durumundaki rekreasyon potansiyeli ve görsel peyzaj kalitesi ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiş, alanın sahip olduğu potansiyeller ortaya çıkarılmıştır. Rekreasyon potansiyelini belirlemek için Gülez yöntemi kullanılmış ve mevcut koşullar altında alanın %42 oranında düşük bir rekreasyon kullanım potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, alanın sunduğu mevcut olanakların iyileştirilmesi ve daha verimli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Görsel peyzaj kalitesini analiz etmek amacıyla, Peyzaj Mimarlığı, Mimarlık, Şehir ve Bölge Planlama ile Orman Mühendisliği bölümlerinde öğrenim gören toplam 250 öğrenciye bir anket uygulanmıştır. Farklı disiplinlerden gelen katılımcılar, 18 sıfat çiftine göre 14 farklı fotoğrafı değerlendirmiştir. Bu analiz sonucunda, Bolu Kent Ormanı'ndaki açıklık ve çiçekli alanlar katılımcılar tarafından daha çok tercih edilmiş, yoğun ağaçlıklı alanlar ve devrilmiş ağaçların bulunduğu bölgeler ise estetik açıdan daha az olumlu bulunmuştur. Bu bulgular, kullanıcıların görsel olarak açık ve doğal güzellikler sunan alanlara daha fazla ilgi duyduğunu göstermektedir. Kent ormanlarının çevresel, estetik ve sosyal faydaları bu alanların önemini artırmaktadır. Bu tür alanlar, şehir içindeki hava kalitesini iyileştiren, karbon emilimi sağlayan ve gürültü kirliliğini azaltan önemli ekosistemlerdir. Aynı zamanda, kent sakinlerinin dinlenme, sosyalleşme ve doğayla etkileşim kurmasına olanak sağlamaktadır. Kent ormanları, şehirlerde yaşayan insanlar için doğal bir kaçış alanı sunarak fiziksel ve ruhsal sağlığı destekler. Estetik değerleri ve sundukları rekreasyon imkanları sayesinde kent ormanları, toplumsal etkileşimi artırır ve yaşam kalitesini yükseltir. Bu doğrultuda, Bolu Kent Ormanı'nın rekreasyonel kullanım potansiyelini artırmak için koruma-kullanım dengesi gözetilerek öneriler geliştirilmiştir. Doğal yapının korunması ve kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesi, alanın sürdürülebilir bir şekilde daha etkin kullanılmasını sağlayacaktır.

Keywords: Rekreasyon potansiyeli, Görsel Peyzaj Kalite, kent ormanı, Bolu Kent Ormanı

EVALUATING OF THE RECREATIONAL POTENTIAL AND VISUAL LANDSCAPE QUALITY OF BOLU URBAN FOREST

ABSTRACT

In this study, the current recreational potential and visual landscape quality of Bolu Urban Forest were thoroughly evaluated, and the area's potentials were identified. The Gülez method was used to determine the recreational potential, revealing that under current conditions, the area has a low recreational usage potential of 42%. This finding indicates the need to improve the existing facilities and utilize the area more effectively. To analyze the visual landscape quality, a survey was conducted with a total of 250 students from the departments of Landscape Architecture, Architecture, Urban and Regional Planning, and Forest Engineering. Participants from different disciplines evaluated 14 different photographs based on 18 pairs of adjectives. The analysis revealed that open and flowered areas in Bolu Urban Forest were more preferred by participants, whereas densely wooded areas and regions with fallen trees were found to be less aesthetically appealing. These findings show that users tend to favor areas that are visually open and offer natural beauty. The environmental, aesthetic, and social benefits of urban forests highlight their importance. Such areas play a critical role in improving air quality, absorbing carbon emissions, and reducing noise pollution within cities. Additionally, they provide city residents with opportunities for relaxation, social interaction, and connection with nature. Urban forests serve as natural retreats for city

dwellers, supporting both physical and mental well-being. Their aesthetic value and recreational opportunities also enhance social interaction and improve the overall quality of life. In this context, various recommendations have been developed to increase the recreational potential of Bolu Urban Forest while maintaining a balance between conservation and utilization. Preserving the natural structure and improving user experiences will ensure the sustainable and more effective use of the area. By further developing the study in the future and creating planning in collaboration with other professional disciplines, more sustainable spaces can be provided for both the city and its residents.

Keywords: Recreation potential, Visual Landscape Quality, urban forest, Bolu Urban Forest

1. Giriş

Kent ormanlarının ve yeşil alanların sağladığı mal ve hizmetlerin listesi etkileyici derecededir. Kentsel yeşil alanlar, şehirleri serin tutmak için doğal filtre ve gürültüyü absorbe etmeye yardımcı olmaktadır (Gage & Cooper, 2017; Prather vd., 2018). Kent ormanları mikro iklimleri iyileştirmekte ve toprak, su, bitki örtüsü ve yaban hayatı da dahil olmak üzere doğal kaynakları koruyup iyileştirmektedir (Lindén vd., 2016; Guo vd., 2024). Ağaçlar, kent sakinlerinin estetik çekiciliğine önemli ölçüde katkıda bulunurlar ve psikolojik ve zihinsel dengeleri korumalarına yardımcı olmaktadır (Nowak & Crane, 2002; Nowak vd., 2014; McPherson vd., 2017). Kentsel yeşil alanlar kent sakinlerinin psikolojik, sosyal ve kültürel ihtiyaçlarının bir rolünü yerine getirmektedir. (Patarkalashvili, 2017).

Birçok ABD şehrinde kent ormanlardaki yatırımlar artmaktadır ve çalışmalar kent ormanlardaki artışın arzu edildiğini ve bu sayede kirlilik sorunlarının hafifletileceğini vurgulamaktadır. (Roy vd., 2012; McPherson vd., 2013). Kent ormanlarının ve ağaçların, iklim değişikliğinin azaltılması ve karbonun ayrıştırılması, hava kirliliğinin azaltılması ve ısı adası etkisinin azaltılması gibi uyum konularına değinen ekosistem faydaları sağladığı bilinmektedir (Walton vd., 2016; Rafiee vd., 2016; Gage & Cooper, 2017; Yılmaz vd., 2018; Zhou & Cao, 2020; Yılmaz vd., 2021). Kent ormanlarının, her yıl 4.9 milyon arabaya eşdeğer emisyon üreten 23 milyon tonluk karbon yakaladığı tahmin edilmektedir (US Environmental Protection Agency, 2016; Le Tran vd., 2017). Yapılan bir çalışma, kent orman desenleri ile arazi yüzey sıcaklığı arasındaki ilişkinin mekânsal ölçüde duyarlı olduğunu ve kent ormanındaki bitki örtüsünün, kentsel alanların soğutulmasında daha iyi performans gösterdiğini tespit etmiştir (Zhou & Cao, 2020).

Kent ormanları, estetik, kereste üretimi ve biyoçeşitlilik gibi birçok amaç için önemlidir. Kent ormanları öneminin ve talebinin, devam eden kentleşme sürecine bağlı olarak artması beklenmektedir (Ode & Fry, 2002). Kentsel alanlardaki ve yakınındaki ormanlık alanların planlanması ve yönetimi en çok kentleşme sürecinden etkilenmiştir (Konijnendijk, 2000). Kent ormanının rekreasyon, estetik kalite, çevre koruma ve doğa koruma için özel işlevleri değerlendirilmelidir (Pauleit and Duhme 2000). Son çalışmalar, kent ormanlarının sadece peyzajda estetik bir işleve sahip olmadığını, aynı zamanda kentsel yerleşimlerin yarattığı çevresel etkilerin azaltılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Seamans, 2013; Bonilla-Bedoya vd., 2020).

Kent ormanı rekreasyon kullanımının farklı yönleri, orman ziyaretlerinin sıklığı, ziyaretçi grubunun kompozisyonu ve büyüklüğü, gerçekleştirilen faaliyetler ve ziyaret edilen yerler gibi kriterleri içermektedir (Jay & Schraml, 2009). Gobster (2002)'e göre, farklı kullanıcı grupları (ör. çocuklar, ergenler, yetişkinler, etnik azınlıklar ve engelliler) arasında açık hava rekreasyonu için değişen kullanım ve ihtiyaçlar hakkındaki bilgi birikimi, peyzaj planlamacıları ve yöneticileri için önemli bir kaynaktır (Gentin, 2011). Jensen (1993)'e göre, açık hava rekreasyon ihtiyaçları ve farklı kullanıcı gruplarının tercihleri hakkında bilgi eksikliği, açık hava eğlence planlaması yaparken peyzaj yöneticilerinin kendi tercihlerine güvenmelerini etkilemektedir. Yöneticiler ve planlamacılar, farklı kullanıcı gruplarının orman tercihleri hakkında yanlış bir anlayışa sahip olabilir ve bu yanlış anlaşılma, kullanıcı grubu, çoğu "uzman"dan farklı bir kültürel geçmişe sahip olduğunda daha da kötüleşebilmektedir (Gentin, 2011). Anketler, ziyaretçilerin sosyo-demografik özellikleri, ilgili faaliyet gruplarının tercihleri ve algıları ile orman alanıyla ilgili yapı ve altyapı ile ilgili yorumları ele almalıdır (Roovers vd., 2002).

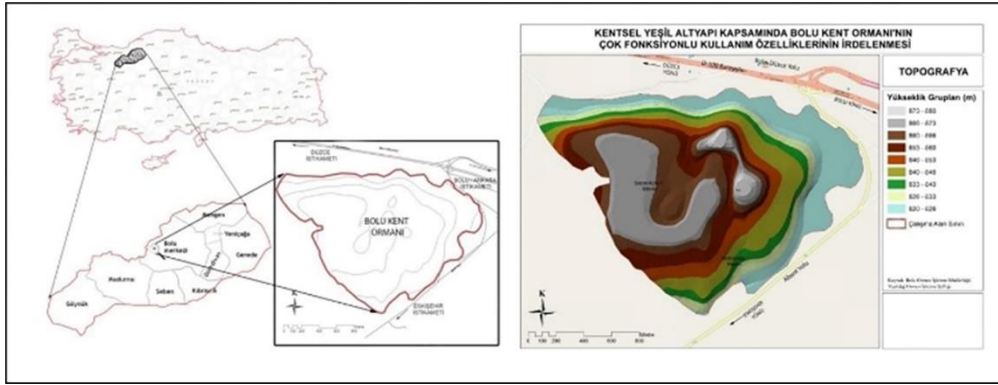
Bu çalışmada, Bolu Kent Ormanı'nın mevcut rekreasyon potansiyeli ve görsel peyzaj kalitesi araştırılmıştır. Sonuçta, Bolu Kent Ormanı'na kullanım potansiyelini arttırmaya yönelik koruma-kullanım dengesi gözetilerek alan için öneriler geliştirilmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1 Çalışma alanı

Araştırma alanı olarak seçilen Bolu ili 284.789 nüfuslu bir il olup, Bolu Kent Ormanı 130,7 ha alanda Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2005 tarihinde kurulmuştur (Anonim, 2014a). Bolu Yeşildağ Orman İşletme Müdürlüğü tarafından 2006 yılından bu yana Bolu Kent Ormanı'nın işletme hakkı Bolu Belediyesi'ne kiraya verilmiştir. Bolu Kent Ormanı "D Tipi Mesire Yeri" statüsündedir (Anonim, 2014a). Orman Genel Müdürlüğü'nün mesire yerleri uygulama tebliğine göre D tipi mesire yeri; "Ormanların öncelikle sağlık, spor, estetik, kültürel ve sosyal fonksiyonlarını halkın hizmetine sunmak, aynı zamanda yurdun güzelliğine katkı sağlamak, toplumun çeşitli spor ve dinlenme ihtiyaçlarını karşılamak, turistik hareketlere imkan vermek ve teknik ormancılık faaliyetleri ile flora ve faunanın da tanıtılarak, özellikle çocuklar ve gençlere orman sevgisi ve bilincinin aşılmasını maksadıyla izcilik, doğa yürüyüşü, bisiklet, binicilik ve benzeri etkinlikler ile kır lokantası, kır kahvesi, kültür evleri, yöresel ürün sergi ve satış yeri, amfi tiyatro, çeşitli mini spor alanları ve diğer rekreasyonel yapı ve tesisleri ihtiva eden, il ve ilçelerde ayrılan yerleri ifade eder" (Anonim, 2014b).

Bolu Kent Ormanı Yeşildağ Orman İşletme Şefliği sınırlarında, Yolçatı köyü Abant kavşağındadır (Şekil 1). Bolu kent merkezine uzaklığı 14 km'dir (Anonim, 2012).



Şekil 1: Bolu Kent Ormanı'nın Türkiye ve Bolu'daki konumu (Orijinal, 2015).

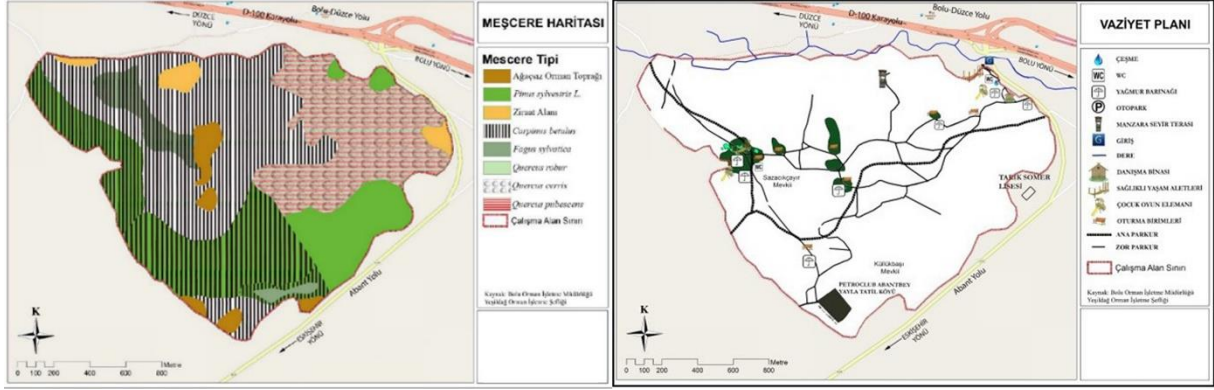
Bolu Kent Ormanı yükseklik değerleri 800-880 m arasında değişim gösteren, hafif eğimli bir alandır. Bakışı – kuzey-güney ve kent ormanının çevresi toplam 4965 m'dir. Araştırma alanı daha çok kuzey-güney bakılara sahiptir. Alan genel olarak % 0-2 (düz yada düze yakın) ve % 2-6 (hafif eğimli) eğimler arasında düze yakın bir alan olduğu için, güneşlenme süresi çok olan bir alandır (Ertem Mutlu & Cengiz, 2017).

Bolu ili 90 yıllık (1929-2019) ortalama iklim değerlerine bakıldığında, ortalama sıcaklık en düşük Ocak ayında 0.4°C, en yüksek Temmuz ve Ağustos ayında 19.8°C'dir. Ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında 27.9°C, ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında -3.6°C, ortalama güneşlenme süresi en yüksek Temmuz ayında 9.0 saat, en düşük 2.0 saat Aralık ve Ocak ayındadır. Ortalama yağışlı gün sayısı en az 5.3 gün Ağustos ayında, en çok 15.6 gün Ocak ayındadır. Aylık toplam yağış miktarı ortalaması en az 24.4 kg/m² Ağustos ayında, en çok 58.8 kg/m² Aralık ayındadır. En yüksek sıcaklık gün olarak 39.8°C Ağustos ayında (06.08.2006) görülmüşken, en düşük sıcaklık gün olarak -31.5°C ile Ocak ayında (05.01.1942) görülmüştür (MGM, 2021).

Flora: Türkiye florasında, Avrupa Sibirya flora bölgesinin, daha çok euxin elemanı bitkileri bulunmaktadır (Anonim, 2012). Bolu Kent Ormanı, *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach subsp. *bornmülleriana* ile *Pinus sylvestris* L.'in üst kısmını oluşturduğu ayrıca; *Quercus robur*, *Quercus cerris*, *Carpinus betulus* ve *Fagus sylvatica*'nın bitkilerinin de alt tabakayı oluşturduğu karışık bir meşceredir. Çalışma alanının ağaç olmayan bölgelerinde ise *Rosa canina* L., *Graminea* (Buğdaygiller) türleri ve *Spergula diandra* (Çayır otu) bulunmaktadır (Şekil 2) (Anonim, 2014a).

2.1.1 Bolu Kent Ormanı'nın rekreasyonel kullanım özellikleri

Alan içerisinde bulunan yapısal peyzaj donatıları; otopark (1 adet), yağmur barınağı (7 adet), danışma binası (1 adet), çeşme (1 adet), WC (2 adet), çocuk oyun grubu (2 takım), sağlıklı yaşam fitness grubu (2 takım), gölet (1 adet), ahşap oturma bankları (8 adet), ahşap pergola (5 adet) şeklindedir (Anonim, 2014a). Şekil 2' de, alanın vaziyet planı verilmiştir.



Şekil 2: Bolu Kent Ormanı meşcere haritası ve vaziyet planı (Anonim, 2014a'dan geliştirilerek).

Çalışma alanı yürüyüş yolu uzunluğu zorluk derecesine göre; cross, yürüyüş parkuru ve ara patika yaya yolları olmak üzere 3 çeşittir. Toplam uzunluk ise 5150 metredir. Ara patika yollar dışındaki cross ve yürüyüş parkuru 2760 metredir. Parkurlar birbirlerine bağlantılı olarak çeşitli mesafelerden oluşmaktadır. Ana parkur toplam uzunluğu 1910 m, zor parkurun toplam uzunluğu ise 850 m'dir. Tüm parkurların toplamı da 2760 m'den oluşmaktadır (Anonim, 2014a).

2.2 Yöntem

Araştırmanın yöntemi 2 ana aşamadan oluşmaktadır.

I. Aşama: Görsel peyzaj kalitesi analizi ve değerlendirmeleri

Bolu Kent Ormanı'nın görsel peyzaj kalitesini değerlendirmek amacı ile üniversite öğrencilerine anket yapılmıştır. Görsel peyzaj anketleri Bartın Üniversitesi'nde Orman Fakültesi doktora, yüksek lisans ve 3. ve 4. sınıf lisans öğrencilerine ve Atatürk Üniversitesi'ndeki Mimarlık ve Tasarım Fakültesi öğrencilerine uygulanmıştır. Anket sayısı süresiz değişken bir durum olduğundan dolayı $n_0 = (t^2 \times pq) / d^2$ ve $n = n_0 / [1 + (n_0 - 1) / N]$ formülüne göre anket sayısı hesaplanmıştır (Büyüköztürk vd., 2014). Formüllerde yer alan değerler; güven düzeyi $t=1.96$, $pq=0.25$, sapma miktarı $d=0.05$ ve evren büyüklüğü $N=705$ olarak alınmıştır. $n_0 = (t^2 \times pq) / d^2$ formülünde yerlerine koyduğumuzda; $n_0 = (1.96^2 \times 0.25) / 0.05^2 = 384.16$ çıkmıştır. Buna göre n değeri ise; $n = 384.16 / [1 + (384.16 - 1) / 705] = 249.45$ kişi olarak bulunmuştur. Çıkan sonuca göre, toplamda 250 kişiye anket uygulanmıştır.

Alana göre sıfat çiftleri belirlenirken, Acar vd., (2003), Cengiz vd., (2014), Cengiz vd., (2016), Kaptanoğlu (2006), Kıroğlu (2007) kaynaklarından yararlanılmıştır. Kullanıcılara Bolu Kent Ormanı'nın farklı noktalarından seçilmiş 14 fotoğraf gösterilmiş (Şekil 3) ve anlamsal farklılaşım tekniğine göre belirlenen sıfat çiftlerini gösterilen fotoğraflara göre yorumlamaları istenilmiştir. Anketler üniversite öğrencilerine birebir yapılmıştır ve her bir fotoğraf için ortalama 2 dakika olmak üzere her anket toplam 28 dakikada tamamlanmıştır. Çalışmada görsel değerleri kullanım özelliklerine göre ölçmek amacı ile "Anlamsal Farklılaşım Tekniği" kullanılmıştır. Anlamsal farklılaşım tekniği, anlamsal özellikler ile peyzaj elemanları ve mekan etkileşiminin algılanma durumunu ortaya koymak için kullanılabilir (Acar vd., 2003). Bu tekniğe bakılarak fotoğrafların değerlendirilmesi amacıyla birbirine zıt 18 adet sıfat çifti belirlenmiştir. Değerlendiren kişilerden, gösterilen fotoğraflara bakarak anket

formunda her sıfat çiftine -2, -1, 0, 1, 2 puanlarından birini verip değerlendirmeleri talep edilmiştir. Anketlerin bilgisayara aktarılmasında değerlendirmenin daha anlaşılır olabilmesi amacıyla -2, -1, 0, 1, 2 değerleri 1, 2, 3, 4, 5 rakamlarına çevrilmiştir.

Çalışma alanındaki görseller seçilirken meşçere temel alınarak, alanın yoğun bitki olan alanlar, açıklık/kapalılık oranı, donatı elemanlarının yoğun olduğu alanlar, geniş açıklık alanlar, yürüyüş parkuru olan alanlar, yer örtücü ve çiçeklerin yoğun olduğu alanlar, birbiriyle uyumlu veya uyumsuz bitkilerin kompozisyon oluşturduğu alanlar olarak farklı çeşitlerde seçilmesine özen gösterilmiştir (Şekil 3). Seçilen fotoğraflarda alana göre uygun olan 18 sıfat çifti kullanılmıştır. Buradaki hedef üniversite öğrencilerinin kent ormanlarında tercih ettikleri alanları tespit etmektir. Anket çalışması sonrasında her görsel ayrı ayrı hesaplanmıştır. Verilen cevaplara göre en çok beğenilen ve en az beğenilen görseller tespit edilmiştir.



Şekil 3: Görsel peyzaj kalitesi analizine seçilen görseller ve özellikleri (**F1:** Alan girişindeki karışık meşçereye (*Pinus sylvestris*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*) sahip bitki kompozisyonu, **F2:** Açıklık alanı sınırlayıcı bitki topluluğu, **F3:** Orman içi açıklık alan içerisindeki dinlenme birimi, **F4:** Kapalılık oranı yoğun alanda (%71-100) çocuk oyun elemanı, **F5:** Asırlık *Pinus sylvestris* ile dinlenme alanının oluşturduğu kompozisyon, **F6:** Kapalılık oranı fazla (%71-100) olan orman içi patika yol, **F7:** Rejenerasyon alanlarında oluşan eski ağaçların oluşturduğu orman içi görüntü, **F8:** Açıklık alanda yer alan çiçek ve yer örtücü kompozisyonu, **F9:** Alan girişinde bulunan patika yol, **F10:** Sınırlayıcı tek tip meşçere tipine sahip (*Quercus cerris*) orman içi açık alan, **F11:** Yoğun bitki alanını sınırlayıcı peyzaj donatı elemanı, **F12:** Geniş açık yeşil alan ile *Carpinus betulus* 'un sınırlayıcı şekilde oluşturduğu orman dokusu, **F13:** Ormanın kendini yenilemesi için yıkılan yaşlı ağaçlar (rezevr alanı), **F14:** Orman alanı ve açık yeşil alan arasındaki sınırlayıcı özellikteki ağaç kompozisyonu)

Anket çalışmasında amaç, üniversite öğrencilerinin demografik özelliklerinin saptanması ve Bolu Kent Ormanı'nın görsel peyzaj kalitesinin değerlendirmesidir. Elde edilen veriler, SPSS 17.0 paket programında değerlendirilmiştir. Ayrıca, analiz sırasında, sıfat çiftleri ile ankete katılanların demografik özellikleri arasındaki ilişkiler, anlamlılık durumuna göre Tukey ve Bonferroni yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. T-test yöntemi, cinsiyet ile diğer cevaplar arasındaki anlamlı ilişkileri belirlemek için, one-way ANOVA ise birden fazla seçeneğe sahip soruların diğer cevaplarla olan anlamlılık düzeylerini değerlendirmek için kullanılmıştır. T-test, one-way ANOVA ve korelasyon analizlerinde, p değerinin 0,05'ten küçük olduğu durumlarda ($p < 0,005$) anlamlı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Analizlerde yalnızca p değeri anlamlı çıkan karşılaştırmalara yer verilmiştir.

II. Aşama: Rekreatif kullanım potansiyelinin saptanması

Türkiye'deki orman içi alanların rekreatif kullanım potansiyelini belirlemek için, Gülez'in (1990) geliştirdiği değerlendirme yöntemi temel alınmıştır. Gülez yöntemi Türkiye'de birçok orman ve dinlenme alanının rekreatif kullanım potansiyelini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir (Korkut ve Şimşek, 2009; Yılmaz vd., 2009; Akten ve Akten, 2011; Sibel ve Aslan, 2017; Surat, 2017). Değerlendirme yöntemi tablosu kent ormanlarına ilişkin rekreatif değerlendirme tablosuna çevrilmiştir. Tablo 1'de ise Bolu Kent Ormanı'nın rekreatif açıdan değerlendirilmesi için kullanılan parametreler ve puanların hangi kriterlere göre verildiği sunulmuştur. Değerlendirme her bir kriterin ayrı ayrı alanda gözlem yapılması sonucu puanlandırılmıştır.

$$\%RP = (P+İ+Z+U+Ç)-OE \text{ Rekreatif Potansiyeli (\% Toplam Puan 100)}$$

Tablo 1: Analizlere göre puanlandırma tablosu (Gülez, 1990).

SEMBOL	ANLAMI	MAKSİMUM PUAN	DEĞERLENDİRME SONUCU
P	Alan ve Peyzaj Değeri	35	18
İ	İklim Değeri	18	6
Z	Ziyaretçi Potansiyeli	17	9
U	Ulaşılabilirlik	8	6
Ç	Çevresel Kolaylıklar	22	14
OE	Olumsuz Etkenler	20	11
% RP	Rekreatif Potansiyeli	100	42

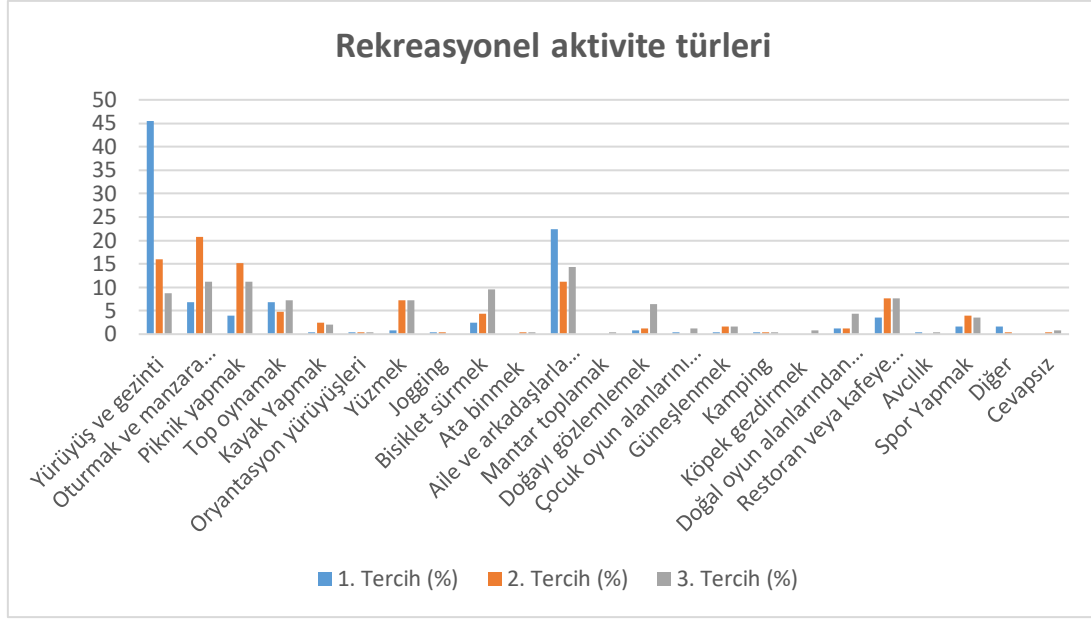
Gülez (1990) yöntemine göre; rekreatif kullanım potansiyel analizinde puan **%30**'dan düşük olduğunda rekreatif kullanım potansiyeli yoktur. **%30-44** arası rekreatif kullanım potansiyeli düşük, **%45-60** arası orta, **%61-75** arası yüksek ve **%76**'dan yukarı ise rekreatif kullanım potansiyeli çok yüksektir.

2. Bulgular

3.1 Görsel peyzaj kalitesi analizi ve değerlendirilmesi

Görsel peyzaj kalite analizinde, ankete katılanların demografik özellikleri ve katılımcı sayıları şu şekilde belirlenmiştir: Cinsiyet (Erkek: 100, Kadın: 150), Yaş grupları (15-20 yaş: 16, 21-30 yaş: 230, 31-40 yaş: 4), Medeni durum (Evli: 6, Bekar: 242, Evli ve Çocuklu: 2), Çocuk sayısı (0: 248, 1: 2), Eğitim durumu (Lisans: 238, Yüksek Lisans: 10, Doktora: 2), Bölüm (Peyzaj Mimarlığı: 158, Mimarlık: 18, Şehir ve Bölge Planlama: 28, Orman Mühendisliği: 46) ve Çevre Kulübü üyeliği (Evet: 14, Hayır: 61).

Üniversite öğrencilerine yöneltilen "Boş zamanlarınızda hangi tür rekreatif aktivitelerde bulunuyorsunuz?" sorusuna verilen yanıtlarda, birinci tercih **%45,20** (N=113) oranıyla "Yürüyüş ve gezinti" olarak belirlenmiştir. İkinci tercih **%20,8** (N=52) oranıyla "Oturmak ve manzara seyretmek" olurken, üçüncü tercih **%14,4** (N=36) oranıyla "Aile ve arkadaşlarla zaman geçirmek" şeklinde ifade edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: Üniversite öğrencilerinin kent ormanında tercih ettikleri rekreasyonel aktivite türleri

3.1.1 Görsel peyzaj kalitesi analizinde fotoğrafların sıfat çiftlerine göre değerlendirilmesi

Sıfat çiftleri +2,+1,0,-1,-2 şeklinde olumlu özelliklerden olumsuz doğru puanlandırılmıştır. Puanlandırma SPSS’de +2,+1,0,-1,-2 karşılığı 1,2,3,4,5 şeklinde olmuştur. Buna göre puanlandırmada yüksek puan alan fotoğraf puanlandırmaya göre olumsuz en yakın fotoğraftır (Tablo 2).

Tablo 2: Görsel peyzaj kalitesi analizinde sıfat çiftlerine göre fotoğrafların aldığı ortalama puanlar

SIFAT ÇİFTLERİ	FOTOĞRAFLAR /ORTALAMA PUANLAR													
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
Düzenli	2.89	2.46	1.64	2.76	2.71	2.65	3.49	2.07	2.29	2.51	3.49	2.32	3.61	3.14
İlginc/İlgi çekici	3.04	2.44	2.07	1.96	2.32	2.36	3.38	2.04	2.17	2.42	2.94	2.31	3.01	2.61
Güvenli	3.4	2.75	2.01	2.72	2.5	3.22	3.53	2.36	2.38	2.82	3.45	2.79	3.67	3.12
Heyecan verici	3.08	2.71	2.34	2.18	2.56	2.32	3.39	2.25	2.17	2.42	2.9	2.39	2.98	2.57
Ulaşılabilir	2.61	2.42	2.08	2.46	2.33	2.82	2.83	2.28	2.13	2.4	2.99	2.42	3.14	2.81
Çeşitli	2.9	3	2.58	2.43	2.54	2.46	3.3	2.3	2.23	2.37	2.67	2.41	2.83	2.51
Hareketli/Dinamik	3.06	2.95	2.8	2.3	2.58	2.5	3.29	2.4	2.35	2.55	2.84	2.51	2.92	2.7
Dinlendirici/Rahlatıcı	2.34	1.99	1.67	2.18	2.14	2.16	3.11	1.74	1.96	2.16	2.76	2.32	3.16	2.56
Görülebilir	2.23	2.1	1.78	2.26	2.22	2.35	2.83	2	2.08	2.28	2.85	2.43	3.01	2.54
Özgün/Eşsiz	3.27	3	2.69	2.6	2.93	2.64	3.43	2.58	2.79	2.74	3.08	2.88	3.12	2.9
Yabani/Vahşi	2.72	3.03	3.46	2.82	3.29	2.54	2.92	3.21	3.16	2.86	2.52	2.9	2.68	2.55
Davetkar	3.4	2.84	2.09	2.3	2.58	2.57	3.38	2.12	2.36	2.54	3.02	2.52	3.17	2.78
Renk etkili	2.75	2.66	2.42	2.62	2.69	2.6	3.16	2	2.27	2.42	2.84	2.45	2.82	2.6
Arazi formu etkili	2.75	2.63	2.39	2.54	2.72	2.49	3.02	2.36	2.39	2.44	2.86	2.52	2.78	2.6
Bitkisel çeşitlilik açısından zengin	2.62	2.76	2.55	2.58	2.65	2.34	3	2.23	2.17	2.26	2.32	2.26	2.51	2.26
Doğal	1.58	1.54	1.8	1.68	1.96	1.57	1.97	1.55	1.68	1.6	1.76	1.76	1.82	1.79
Bakımlı	3.1	2.41	1.88	2.55	2.66	2.79	3.52	2.29	2.35	2.57	3.34	2.56	3.44	3.07
Yoğun	1.89	2.41	2.39	2.2	2.68	1.83	2.86	2.12	2.24	2.04	2.02	2.13	2.26	2.1
Ortalama	2.76	2.56	2.26	2.4	2.56	2.46	3.13	2.22	2.29	2.41	2.81	2.44	2.94	2.62

Yapılan analizlere göre Bolu Kent Ormanı'nda sıfat çiftlerinin aldığı puanlara göre değerlendirildiğinde (Tablo 4), en az beğenilen (en yüksek puanı alan) fotoğraflar **F7** (ortalama puan=3,13), ikinci sırada **F13** (ortalama toplam puan=2,94), üçüncü sırada ise **F1** (ortalama puan=2,76)'dir (Şekil 5). Görsel peyzaj kalitesi analizinde kullanıcılara yapılan anketlere göre, kent ormanı içerisindeki ağaçların devrilmiş olduğu bakımsız alanlar en az beğenilen alanlar olarak seçilmiştir (Şekil 5). Ankete katılan öğrenciler daha çok açıklık çim alanları, orman içerisindeki çiçekli açıklık alanları tercih etmektedir.



Şekil 5: Sıfat çiftlerine göre ortalama puan olarak en az beğenilen fotoğraflar F7 (ortalama puan=3,13), F13 (ortalama puan=2,94) ve F1 (ortalama puan=2,76)

Yapılan analizlere göre Bolu Kent Ormanı sıfat çiftlerinin aldığı puanlara göre değerlendirilirse, en çok beğenilen fotoğraflar (en düşük puanı alan) sırasıyla **F8** (ortalama puan=2,22), ikinci sırada **F3** (ortalama puan=2,26), üçüncü sırada ise **F9** (ortalama puan=2,29) yer almaktadır (Şekil 6).



Şekil 6: Sıfat çiftlerine göre ortalama puan olarak en çok beğenilen fotoğraflar F8 (ortalama puan=2,22) F3 (ortalama puan toplamı=2,26), ve F9 (ortalama puan toplamı=2,29)

Sıfat çiftlerine göre; en düzenli fotoğraf **F3**, en ilgi çekici fotoğraf **F4**, en güvenli fotoğraf **F3**, en heyecan verici fotoğraf **F9**, en ulaşılabilir fotoğraf **F3**, en çeşitli fotoğraf **F9**, en hareketli fotoğraf **F4**, en dinlendirici fotoğraf **F3**, en görülebilir fotoğraf **F3**, en özgün fotoğraf **F8**, en yabani olmayan fotoğraf **F11**, en davetkar fotoğraf **F3**, en renk etkili ve en arazi formu etkili fotoğraf **F8**, bitkisel çeşitlilik açısından en zengin fotoğraf **F9**, en doğal fotoğraf **F2**, en bakımlı fotoğraf **F3**, en yoğun fotoğraf **F6** seçilmiştir.

3.1.2 Görsel peyzaj kalitesi analizinde fotoğraf tercihi ile üniversite öğrencilerinin bölüm durumu arasındaki ilişki

One-way ANOVA testine göre öncelikle varyansların homojenliği test edilmiştir. Bu testin sonuçlarına göre, Tukey yöntemiyle anlamlı bir sonuç elde edilemediğinden ($p>0,05$), analizlerde Bonferroni tekniği tercih edilmiştir. Bonferroni yöntemiyle yapılan analizde tüm fotoğraflar tek tek değerlendirilmiş ve yalnızca F1 fotoğrafına yönelik algıların, katılımcıların bölüm durumuna göre anlamlı bir farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p=0,000$). Elde edilen verilere göre Peyzaj Mimarlığı ve Şehir Bölge Planlama bölümü öğrencilerinin verdikleri cevaplar tam bir uyum göstermiştir. Şehir Bölge Planlama öğrencilerinin yanıtları ise hem Orman Mühendisliği hem de Peyzaj Mimarlığı bölümü öğrencilerinin yanıtlarıyla tam uyumlu bulunmuştur.

Anket puanlamasında kullanılan +2, +1, 0, -1, -2 puan sistemi, SPSS'e 1, 2, 3, 4, 5 olarak yansıtıldığından, anket sonuçlarında düşük puanlar en yüksek, yüksek puanlar ise en düşük puanı alan fotoğrafları ifade etmektedir. Bu

puanlamaya göre, üniversite öğrencilerinin bölümlerine göre fotoğraflara verdikleri puanlara bakıldığında, Şehir ve Bölge Planlama öğrencilerinin F4 (2,61) dışında tüm fotoğraflara en düşük puanı verdiği, Orman Mühendisliği öğrencilerinin ise F11 (2,78) dışında tüm fotoğraflara en yüksek puanı verdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, Mimarlık öğrencileri F4 (2,68) fotoğrafına en düşük puanı verirken, Peyzaj Mimarlığı öğrencileri ise F11 (2,97) fotoğrafına en yüksek puanı vermiştir.

Yapılan analizlere göre, Şehir ve Bölge Planlama öğrencileri alanı düşük puanlamıştır, Orman Mühendisliği öğrencileri ise alanı yüksek puanlamıştır. Fotoğraf 4 (2,68)'e ise Mimarlık öğrencileri en düşük puanı vermiştir. Fotoğraf 11 (2,70)'e Peyzaj Mimarlığı öğrencileri en yüksek puanı vermiştir. Bunun sebebi ise alanda bulunan doğal peyzaj elemanı ahşap bank ile alanın uyumu olmuştur. Her bölümün en çok beğenilen ve en az beğenilen fotoğrafları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Görsel peyzaj kalitesi analizinde bölümlere göre en çok beğenilen ve en az beğenilen fotoğraflar

Bölümler	En Çok Beğenilen Fotoğraf	En Az Beğenilen Fotoğraf
Peyzaj Mimarlığı	F8 (2,23)	F7 (3,07)
Mimarlık	F8 (2,15)	F7 (3,37)
Şehir ve Bölge Planlama	F8 (2,43)	F7 (3,58)
Orman Mühendisliği	F9 (1,90)	F7 (2,97)

Tüm bölümlerin verdikleri genel puan ortalamalarına göre, en çok beğenilen fotoğraflar Fotoğraf 8 ve Fotoğraf 9 olmuşken, en az beğenilen fotoğraf ise Fotoğraf 7 olmuştur. Fotoğraf 8 ve Fotoğraf 9'a bakıldığında açıklık ve çiçekli alanların bulunduğu görülmektedir. Bu durum, üniversite öğrencilerinin yoğun orman alanlarından ziyade açıklık ve ferah alanları tercih ettiklerini göstermektedir. Öte yandan, Fotoğraf 7'ye bakıldığında ise alandaki yaşlı ve yıkılmış ağaçların bulunduğu bir manzara ortaya çıkmaktadır. Bu da üniversite öğrencilerinin bakımsız, yıkılmış ağaçlarla dolu alanları görmek istemediklerini göstermektedir.

3.2 Bolu Kent Ormanı'nın rekreasyonel kullanım potansiyelinin saptanması ve değerlendirilmesi

Bolu Kent Ormanı'nın rekreasyonel potansiyeli, Gülez (1990)'in orman içi alanların rekreasyonel potansiyeli saptamak amacıyla oluşturduğu değerlendirme tablosuna göre alana yönelik değiştirilerek Bolu Kent Ormanı için uygulanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4: Rekreasyon potansiyeli analiz tablosu

Değerlendirme Kriterleri	ÖZELLİKLER	PUANLAR
Alan ve Peyzaj Değeri (P)	Alanın Büyüklüğü	3
	Bitki Örtüsü ve Gölgeleme	7
	Deniz, Göl, Gölet, Akarsular	0
	Yüzeysel Durum (Eğim)	5
	Görsel Kalite	3
İklim Değeri (İ)	Sıcaklık	1
	Yağış	2
	Güneşlenme	1
	Rüzgarlılık	2
Ziyaretçi Potansiyeli (Z)	Ziyaretçi Sayısı	1
	Bulunduğu Bölgenin Turistik Önemi	2
	Bulunduğu Bölgede En Az 100.000 Nüfuslu Kent Olması	6
Ulaşılabilirlik (U)	Ulaşılan Süre (Yakındaki En Az 5000 Nüfuslu Yerleşim Merkezinden)	4
	Ulaşım (Taksi Ve Özel Oto Dışında) Ve Diğer Kolaylıklar	2
Çevresel Kolaylıklar (Ç)	Su Kaynakları	4
	Elektrik	2
	Kanalizasyon Ve Atık	2
	Yol, Gezinti Ve Yürüyüş Yolları	2
	Sosyal İmkanlar Ve Diğer Kolaylıklar	4
Olumsuz Etkenler (OE)	Yangın Riski	3
	Güvenlik	3
	Kirlilik Ve Bakımsızlık	5
Rekreasyon Potansiyeli (Rp)		42%

$\%RP = (P+İ+Z+U+Ç)-OE$ Rekreasyon Potansiyeli (%) Toplam Puan 100

$\% RP = (18+6+9+6+14)-11 = \% 42$

Bolu Kent Ormanı, yapılan değerlendirmelere göre %42 oranında bir rekreasyon potansiyeline sahip bulunmuştur. Rekreasyon potansiyeli değerlendirme tablosuna göre bu oran %30-44 arası olduğu için alanın mevcut durumu rekreasyon potansiyeli açısından düşüktür. Bolu Kent Ormanı'nın mevcut durumu Tablo 6'da aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- **Alan Özellikleri:** Alan ortalama büyüklüğe sahiptir ve bitki örtüsü bakımından zengindir. Ancak, alan içerisinde su kaynağı geçmemesi olumsuz bir faktördür. Daha önce mevcut olan su kaynakları kurumuştur ve bu sebeple çeşme dâhil su kullanımı mümkün değildir. Görsel kalite açısından manzaranın estetik bir değeri olsa da alanda tarihi ya da kültürel değere sahip herhangi bir alan bulunmamaktadır.
- **İklim:** Alan Karadeniz iklimine sahip olup, orman örtüsünün yoğun olması nedeniyle yağışlar fazladır ve sıcaklıklar ortalama olarak düşüktür.
- **Ziyaretçi Potansiyeli:** Alan, önemli bir karayolu güzergâhında yer almaktadır ve Abant gibi önemli bir turizm merkezine yakın mesafededir. Ayrıca, bulunduğu bölgenin nüfusu 284.789 olup, çevresinde birçok önemli mesire alanı bulunmaktadır.
- **Ulaşılabilirlik:** Alan, kent merkezinden 14 km uzaklıkta olup, özel araç veya toplu taşıma ile ulaşım mümkündür. Kent merkezinden araçla ulaşım süresi yarım saatin altındadır, bu da alan için avantajlı bir durumdur.

- **Çevresel Kolaylıklar:** Alanda bir çeşme bulunmaktadır ancak kullanılabilir durumda değildir. Yine de çeşme olması, su hattı getirilmesi için kolaylık sağlamaktadır. Alan içerisinde bir su kaynağı bulunmaması ise dezavantaj teşkil etmektedir.
- **Olumsuz Etkenler:** Alan, yoğun bitki örtüsüne sahip olması nedeniyle yangın riski taşımaktadır. Ayrıca, alanda güvenlik kulübeleri olmasına rağmen güvenlik elemanı bulunmamaktadır. Alan aktif olarak kullanılmadığı için yapılar bakımsız kalmış ve çoğu kırılmıştır. Karayolu kenarında yer alması nedeniyle ise gürültü kirliliği söz konusudur.

3. Sonuçlar ve öneriler

Görsel peyzaj kalitesi analizinde, alana yönelik gösterilen fotoğraflarda sıfat çiftlerine göre, üniversite öğrencileri açıklık ve çiçekli alanları daha çok tercih etmiştir. En ilgi çekici ve hareketli olarak seçilen fotoğraf ise kent ormanı içerisindeki çocuk oyun alanını gösteren fotoğraf olmuştur. Üniversite öğrencileri, dinlendirici ve rahatlatıcı bir ortam arayışında açıklık ve yeşil alanları tercih ederken, rekreatif etkinlikler yapmak için hareketli ve heyecan verici alanlar olarak ise ağaçlık alanlar içindeki oyun ve donatı elemanlarını seçmişlerdir. Çalışma alanı içerisinde ise üniversite öğrencilerinin en az tercih ettiği alanlar, devrilmiş ağaçların bulunduğu bölgelerdir.

Görsel peyzaj kalitesi analizinden elde edilen veriler doğrultusunda, alanın açıklık ve çiçekli alanlarının artırılması ve bakımsız, yıkılmış ağaç olan alanların yeniden düzenlenmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan görsel peyzaj kalitesi analizine göre, bölüm farklılıkları değerlendirildiğinde bölümler kendi ilgi alanlarına yakın fotoğrafları tercih etmişlerdir. Orman Mühendisi daha çok ağaçların yoğun olduğu alanı tercih ederken, Peyzaj Mimarları, Şehir ve Bölge Planlamacılar ve Mimarlık öğrencileri daha çok peyzaj donatı elemanlarının yer aldığı alanları dikkate almıştır.

Üniversite öğrencilerinin boş zamanlarında yaptıkları rekreasyonel aktivitelere ilişkin tercihleri dikkate alındığında, **yürüyüş ve gezinti** 1. sırada çıkmıştır.

Bolu Kent Ormanı'nın Gülez Yöntemi'ne göre rekreasyon potansiyeli sonucu % 42 olarak saptanmıştır. Bu sonuca göre rekreasyon potansiyeli düşük bir alandır. Çalışma alanına ilişkin yapılan bu analizler ve anketler sonucunda alana ait bazı sorunlar saptanmıştır. Bu sorunlar hem alanın çevresine yönelik sorunlar hem de alanın yönetiminden kaynaklanan sorunlardır.

Bolu Kent Ormanı'na insanların ilgisini çekebilmek için alanın bakımı düzenli ve sürekli yapılmalıdır. Görsel Peyzaj Kalitesi anketlerinde en az beğenilen fotoğraflarda görülen devrilmiş ağaçlar, aslında orman ekosistemi için oldukça önemli unsurlardır. Örneğin, yurtdışında devrilen ağaçlar doğaseverler için doğa laboratuvarı olarak kullanılırken, kuşlar ve böcekler açısından doğal ekosistem açısından fayda sağlamaktadır. Bu nedenle kent ormanlarının sürdürülebilirliği açısından, bu alanların önemini halk arasında bilinir hale getirmek gerekmektedir. İnsanların yürüyüş yapabilmeleri için patika yolları oluşturulmalı ve bu yollar boyunca açıklık yeşil durak alanları yaratılmalıdır.

Gezer ve Gül (2009)'e göre, kent ormanı planlama ve yönetim sürecinde, kentsel yeşil konsey ve yerel yönetimin yer aldığı bir "Kent Ormanlığı Konseyi" kurulmalıdır. Kent ormanları ile ilgili gelişim, destek ve kullanım planları hazırlanmalı ve bu planlarda halkı bilinçlendirme çalışmalarına yer verilmelidir. Şu anda Bolu Kent Ormanı'nın yönetimi, Orman İşletmesi'ne bağlı olup, Bolu Belediye'sine kiraya verilmiştir ve bu kapsamda mevcut bir yönetim planı bulunmamaktadır.

Bu sorunların çözülmesi için sürdürülebilir yönetim stratejileri şu şekilde özetlenebilir:

- **Halkın Katılımı Sağlanmalı:** Bolu Kent Ormanı, çevresindeki mesire alanlarından dolayı yeterince tercih edilmemektedir. Alanın daha fazla tercih edilmesi için internet, broşür, katalog gibi tanıtım araçları kullanılmalı ve çeşitli festivallerle halkın katılımı sağlanmalıdır.
- **Bilinçlendirme ve Eğitim:** Halk, kent ormanlarının kullanımı konusunda yeterli bilgiye sahip değildir ve genellikle bu alanı sadece piknik yapma yeri olarak görmektedir. Bu nedenle, kent ormanı konusunda halkı bilinçlendirme çalışmalarına ağırlık verilmelidir.
- **Çeşitlilik ve Doğaya Uyumlu Etkinlikler:** Kent ormanını çekici kılacak doğayla uyumlu etkinlikler eksikliği nedeniyle, alanın planlamasında çeşitliliği artıracak yerler oluşturulmalıdır. Ayrıca, Bolu Kent

Ormanı için koruma ve kullanım zonları belirlenmeli ve doğa sporlarının yapılabileceği alanlar oluşturulmalıdır. Patika yollar daha belirgin hale getirilmeli ve yönlendirme tabelaları ile insanların yürüyüş yapabilmesi için alanlara kolay ulaşım sağlanmalıdır.

- **Ortak Çalışmalar ve Personel:** Kent ormancılığı örgütü, diğer devlet kurumları, belediyeler ve sivil toplum kuruluşlarının kent ormanı planlaması ve yönetiminde ortak bir çalışma yapması sağlanmalıdır. Ayrıca, Bolu Kent Ormanı'na yeterli sayıda ve kent ormanı konusunda bilinçli personel görevlendirilmelidir.
- **Yapısal Düzenlemeler:** Kent ormanının yapısal peyzaj elemanları yeniden düzenlenmeli ve alanın çekiciliği artırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Başak ERTEM MUTLU'nun 445133 tez numaralı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Kaynaklar

1. **Acar, C., Demirbaş, E., Dinçer, P., & Acar, H. (2003).** Evaluation of semantic differential scale technique for plant composition samples. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1: 15-28.
2. **Akten, M. & Akten, S. (2011).** Rekreasyon potansiyellerinin belirlenmesine yönelik bir model yaklaşımı: gülez yöntemi. I. Ulusal Sarıgöl İlçesi ve Değerlendirme Sempozyumu, Sarıgöl.
3. **Anonim (2012).** Tabiatın Kalbi Bolu. Bolu Belediyesi, Bolu Araştırmaları Merkezi Yayınları-12, Bolu.
4. **Anonim (2014a).** Yeşildağ Orman İşletme Şefliği Kayıtları, Yeşildağ Orman İşletme Şefliği, Bolu Orman İşletme Müdürlüğü, Bolu.
5. **Anonim(2014b).** <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Tebliğler/Mesire%20Yerleri%20Uygulama%20Tebli%C4%9Fi.pdf>
6. **Boncinelli, F., Riccioli, F. & Marone, E. (2015).** Do forests help to keep my body mass index low?. Forest Policy and Economics, 54, 11-17.
7. **Bonilla-Bedoya, S., Mora, A., Vaca, A., Estrella, A. & Herrera, M. Á. (2020).** Modelling the relationship between urban expansion processes and urban forest characteristics: An application to the Metropolitan District of Quito. Computers, Environment and Urban Systems, 79, 101420.
8. **Büyüköztürk, Ş., Çakmak Kılıç, E., Akgün, Ö.E., Karadeniz, Ş. & Demirel, F. (2014).** Bilimsel Araştırma Yöntemleri, Pegem Akademi, Ankara., 342 s.
9. **Cengiz, B., Cengiz, C. & Bekçi, B. (2016).** Assessing The Visual Quality Of Rural Highway Landscape Reclamation in The Western Black Sea Region Of Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 25(3): 933-952.
10. **Cengiz, C., Bekci, B. & Cengiz, B. (2014).** A comparative study of public green spaces in the changing urban texture in terms of preferences for ornamental plants and visual quality: The case of Bartın (Turkey). Fresenius Environmental Bulletin, 23(9a): 2326-2342.
11. **Gage, E. A. & Cooper, D. J. (2017).** Urban forest structure and land cover composition effects on land surface temperature in a semi-arid suburban area. Urban Forestry & Urban Greening, 28, 28-35.
12. **Gentin, S. (2011).** Outdoor recreation and ethnicity in Europe - A review. Urban Forestry & Urban Greening, 10: 153-161.
13. **Gezer, A. & Gül, A. (2009).** Kent Ormancılığı (Kavramsal, Teknik ve Kültürel Yaklaşımlar), Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Yayın No:86, Isparta, 244 s.
14. **Gobster, P. H. (2002).** Managing urban parks for a racially and ethnically diverse clientele. Leisure sciences, 24(2), 143-159.
15. **Guo, Y., Ren, Z., Wang, C., Zhang, P., Ma, Z., Hong, S., ... & He, X. (2024).** Spatiotemporal patterns of urban forest carbon sequestration capacity: Implications for urban CO2 emission mitigation during China's rapid urbanization. Science of the Total Environment, 912, 168781.
16. **Gülez, S. (1990).** Ormaniçi Rekreasyon Potansiyelinin Saptanması İçin Geliştirilen Bir Değerlendirme Yöntemi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi. Seri:A, 40(2); 132-147.
17. **Jay, M. & Schraml, U. (2009).** Understanding the role of urban forests for migrants - uses, perception and integrative potential. Urban Forestry & Urban Greening, 8: 283-294.

18. **Jensen, F. S. (1993).** Landscape managers' and politicians' perception of the forest and landscape preferences of the population. *Forest & Landscape Research*, 1(1), 79-93.
19. **Kaptanoğlu, A.Y. (2006).** Peyzaj Değerlendirmesinde Görsel Canlandırma Tekniklerinin Kullanıcı Tercihine Etkileri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, İstanbul, 227 s.
20. **Kıroğlu, E. (2007).** Erzurum Kent ve Yakın Çevresindeki Bazı Rekreasyon Alanlarının Görsel Peyzaj Kalitesi Yönünden Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Ana Bilim Dalı, Erzurum, 173 s.
21. **Konijnendijk, C.C. (2000).** Adapting forestry to urban demands – role of communication in urban forestry in Europe. *Landscape and Urban Planning*. 52; 89-100.
22. **Korkut, D.S.A. & Şimşek, D. (2009).** Kıyı Seridi Rekreasyon Potansiyelinin Belirlenmesinde Bir Yöntem Uygulaması: Tekirdağ Merkez İlçe Örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(3), 315-327.
23. **Le Tran, Y., Siry, J. P., Bowker, J. M. & Poudyal, N. C. (2017).** Atlanta households' willingness to increase urban forests to mitigate climate change. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 84-92.
24. **Lindén, J., Fonti, P. & Esper, J. (2016).** Temporal variations in microclimate cooling induced by urban trees in Mainz, Germany. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 198-209.
25. **McPherson, E. G., Xiao, Q. & Aguaron, E. (2013).** A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests. *Landscape and Urban Planning*, 120, 70-84.
26. **McPherson, E. G., Xiao, Q., van Doorn, N. S., de Goede, J., Bjorkman, J., Hollander, A. & Thorne, J. H. (2017).** The structure, function and value of urban forests in California communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 43-53.
27. **MGM (2015).** Yıllık Ortalama İklim Verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=BOLU#sfB> (12.05.2015).
28. **Ertem Mutlu, B. & Cengiz, B. (2017).** Uzman Perspektifinden Bolu Kent Ormanı'nın Çok Fonksiyonlu Kullanım Özelliklerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(4), 213-222.
29. **Nowak, D. J. & Crane, D. E. (2002).** Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381-389.
30. **Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A. & Greenfield, E. (2014).** Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129.
31. **Ode, A.K. & Fry, L.A. (2002).** Visual aspects in urban woodland management. *Urban Forestry and Urban Greening*. 1: 15-24.
32. **Patarkalashvili, T. K. (2017).** Urban forests and green spaces of Tbilisi and ecological problems of the city. *Annals of Agrarian Science*, 15(2), 187-191.
33. **Pauleit, S. & Duhme, F. (2000).** GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning. *J Arboriculture* 26(3):133-141.
34. **Prather, H. M., Eppley, S. M. & Rosenstiel, T. N. (2018).** Urban forested parks and tall tree canopies contribute to macrolichen epiphyte biodiversity in urban landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*, 32, 133-142.
35. **Rafiee, A., Dias, E. & Koomen, E. (2016).** Local impact of tree volume on nocturnal urban heat island: A case study in Amsterdam. *Urban forestry & urban greening*, 16, 50-61.
36. **Roovers, P., Hermy, M. & Gulinck, H. (2002).** Visitor profile, perceptions and expectations in forests from a gradient of increasing urbanisation in central Belgium. *Landscape and Urban Planning* 59: 129-145.
37. **Roy, S., Byrne, J. & Pickering, C. (2012).** A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(4), 351-363.
38. **Seamans, G. S. (2013).** Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1), 2-11.
39. **Sibel, S. Ü. & Aslan, E. (2017).** Istanca Yıldız Ormanlarının Rekreasyon Potansiyelinin Gülez Metodu İle Değerlendirilmesi. *Kesit Akademi Dergisi*, (9), 83-107.
40. **Surat, H. (2017).** Gülez Yöntemine Göre Deriner Baraj Gölü ve Yakın Çevresi Rekreasyonel Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Alan Kullanım Önerilerinin Geliştirilmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20(3), 247-257.
41. **Tavárez, H. & Elbakidze, L. (2019).** Valuing recreational enhancements in the San Patricio Urban Forest of Puerto Rico: A choice experiment approach. *Forest Policy and Economics*, 109, 102004.

42. **Tyrvaäinen, L., Pauleit, S., Seeland, K. & Vries, S. (2005).** Benefits And Uses Of Urban Forests And Trees. In *Urban Forests And Trees*, Eds. C.C. Konijnendijk, K. Nilsson, T.B. Randrup And J. Schipperijn. New York: Springer, pp. 81-114.
43. **US Environmental Protection Agency, (2016).** Greenhouse Gas Emissions Calculator. Accessed from <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator> on December 1, 2016.
44. **Vujčić, M. & Tomicević-Dubljević, J. (2018).** Urban forest benefits to the younger population: The case study of the city of Belgrade, Serbia. *Forest policy and economics*, 96, 54-62.
45. **Yılmaz, H., Kardeş, B. & Erdoğan Yüksel, E. (2009).** Gülezyöntemine göre Kafkasör Kent Orman'nın rekreasyonel potansiyelinin değerlendirilmesi.
46. **Yılmaz, S., Yılmaz, H., Irmak, M.A., Kuzulugil, A.C. & Koç, A. (2018).** Effects of urban *Pinus sylvestris* (L.) plantation sites on thermal comfort. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1215.6>, *Acta Hortic.* 1215, 39–44.
47. **Yılmaz, S., Mutlu, B.E., Aksu, A., Mutlu, E. & Qaid, A. (2021).** Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environ Sci Pollut Res* 28(3):3672–3693. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10555-z>.
48. **Walton, Z. L., Poudyal, N. C., Hepinstall-Cymerman, J., Gaither, C. J. & Boley, B. B. (2016).** Exploring the role of forest resources in reducing community vulnerability to the heat effects of climate change. *Forest Policy and Economics*, 71, 94-102.
49. **Zhou, W. & Cao, F. (2020).** Effects of changing spatial extent on the relationship between urban forest patterns and land surface temperature. *Ecological Indicators*, 109, 105778.

BİYONUTRASÖTİKLERİN İNSAN VÜCUDUNA ETKİSİ

Münire Kider^{1*}, Elif Çelik², Zafer Ceylan³

^{1*}Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Lisans Eğitimi, Bartın, Türkiye
munire01kider@icloud.com

²Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Bartın, Türkiye

³Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı,
Bartın, Türkiye

Özet

Nutrasötikler kavramı geçmişten günümüze yeni araştırmalar ışığında sürekli gelişmeye yüz tutmuş hibrit bir kavramdır. 'nutruent' ve 'farmasötik' kelimelerinden 1989 yılında Dr. Stephen Defelice tarafından oluşturulmuştur. Mevcut nüfus ve bireylerin sağlık eğitimi dolayısıyla nutrasötikler dünya çapında artış göstermektedir. Nutrasötikler, fonksiyonel gıda maddelerinin kapsül, hap, tablet vb. formlara çevrilerek farmasötikle ortak paydada buluşmaktadır. Nutrasötikler hastalıkları engelleyerek ya da azaltarak farmasötik ilaçlara olan ihtiyacı azaltmaktadır. Bu durumda farmasötik ilaçların sebep olduğu sitotoksosite değeri düşmektedir. Nutrasötikler genel hatlarıyla çok fazla gruba ayrılmaktadırlar. D vitamini ana kaynağı epidermistir. Biyolojik olarak inaktif vitamin D₃'e dönüştürülmesi yoluyla yağda çözünen bir hormondur, karaciğerde 25-hidroksilaz tarafından hidroksilasyona uğrayarak 25(OH)D'ye dönüşür. Akciğerlerde hava değişiminden sorumlu alveollerini kaplayan 2 tip pnömosit vardır. Bunlar tip I ve tip II'dir. Tip I pnömositler skuamöz ve geniş alan yayılırken, Tip II pnömositlerin olgunlaşmasını uyarma, sürfaktan üretimini destekleme ve hava yollarında doğuştan gelen bağışıklık tepkisini arttırmaktadır. Konsantrasyonları, bileşenlerin yutulmasıyla artar ve oksidatif stres ve UV maruziyetleri ile azalır. Karotenoid ailesinde dört ana bileşen vardır. Bunlar, β-karoten, likopen, lutein ve zeaksantindir ve belirli kanserler, kardiyovasküler hastalıklar ve göz hastalıkları dahil olmak üzere çeşitli hastalıkların önlenmesinde yararlı olduğu düşünülür. N-asetilsistein, hem oral hem de tropikal biyoyararlarına sahip olup L-sisteinin ön ilaç formudur. Vücutta en bol bulunan endojen hücre içi antioksidan olan glutatyonu ortaya çıkarır, böylece vücudun antioksidan savunma sisteminde önemli rol oynar. Oksidatif stresin artması sonucunda da DNA hasarı ve yaşlanma oluşmaya başlar. Kurkuminin anti-inflamatuvar özellikleri, kemokinler, siklooksijenaz-2, prostaglandin E₂, MMP'ler, IL-6 ve IL-12 gibi interlökinler (IL) ve tümör nekroz faktörü-α dahil olmak üzere pro-inflamatuvar sitokinleri baskılaya yeteneğine sahiptir.

Anahtar kelimeler: Nutrasötik, farmasötik, D vitamini, karotenoidler, N- Asetilsistein, kurkumin, ROS, L-Sistein, anti-inflamatuvar.

EFFECTS OF BIONUTRACEUTICALS ON THE HUMAN BODY

Abstract

The concept of nutraceuticals is a hybrid concept that has been constantly evolving in the light of new research from past to present. From the words 'NUTRUEMENT' and 'PHARMACEUTICAL' in 1989 Dr. It was created by Stephen Defelice. Because of the current population and the health education of individuals, nutraceuticals are increasing worldwide. Nutraceuticals meet on common ground with pharmaceuticals by converting functional foodstuffs into forms such as capsules, pills, tablets, etc. Nutraceuticals reduce the need for pharmaceutical drugs by preventing or reducing diseases. In this case, the cytotoxicity value caused by pharmaceutical drugs decreases. Nutaseuticals are usually divided into many groups. The main source of vitamin D is the epidermis. It is a fat-soluble hormaon through its conversion to biologically inactive vitamin D₃, undergoing hydroxylation by 25-hydroxylase in the liver to 25(OH)D. here are 2 types of pneumocytes that line the alveoli responsible for air

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):** Münire Kider;
Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Lisans
Eğitimi, Bartın, Türkiye
munire01kider@icloud.com

Geliş (Received) : 13.12.2024
Kabul (Accepted) : 26.12.2024
Basım (Published) : 31.12.2024

exchange in the lungs. These are type I and type II. Type I pneumocytes are squamous and cover large areas. Stimulating the maturation of type II pneumocytes, supporting surfactant production and increasing the innate immune response in the airways. Skin concentrations of carotenoids increase with ingestion of ingredients and decrease with oxidative stress and UV exposures. There are four main components in the carotenoid family. These are β -carotene, lycopene, lutein, and zeaxanthin, and are thought to be useful in preventing a variety of diseases, including certain cancers, cardiovascular diseases, and eye diseases. N-acetylcysteine has both oral and topical biobenefits and is the prodrug form of L-cysteine. It reveals glutathione, the most abundant endogenous intracellular antioxidant in the body, thus playing an important role in the body's antioxidant defense system. As a result of the increase in oxidative stress, DNA damage and aging begin to occur. The anti-inflammatory properties of curcumin have the ability to suppress pro-inflammatory cytokines, including chemokines, cyclooxygenase-2, prostaglandin E2, MMPs, interleukins (IL) such as IL-6 and IL-12, and tumor necrosis factor- α .

Keywords: Nutraceutical, pharmaceutical, vitamins D, carotenoids, N-acetylcysteine, curcumin, ROS, L-cysteine, anti-inflammatory.

1.Giriş

Nutrasötik kavramı ilk olarak İngiltere, Almanya ve Fransa'da yapılan anketlerde ortaya çıkmıştır. Anketlerde tüketiciler tarafından daha fazla diyet, ardından egzersiz ya da daha iyi bir sağlığa ulaşmak için kalıtsal faktörler dahil edilerek üst sıralarda değerlendirilmiştir (Pandey vd., 2010). Nutrasötik kelimesi, bir hibrit terim olarak 'nutrient' ve 'farmasötik' kelimelerinden oluşmaktadır ve son zamanlarda çok fazla biyoaktif madde farmasötik şeklinde pazarlanmaktadır (Meriçli, 2017). Nutrasötik terimi Dr. Stephen DeFelice tarafından 1989 yılında ortaya çıkmıştır. Merriam-Webster Sözlüğüne göre temel besleyici özelliğine ilave olarak sağlığa fayda sağlayan gıda maddeleri olarak tanımlanır (Başaran, 2008). Ayrıca çeşitli hastalıkları önleyen immünomodülatördür (Dhama vd., 2015; Aronson, 2017; Helal vd., 2019). Eğer bir maddeyi nutrasötik olarak tanımlayacaksak bu maddenin kronik hastalıklara karşı koruma sağlamanın yanı sıra onaylanmış ya da kanıtlanmış fizyolojik faydalarının bulunması gerekmektedir. Bir diyet takviyesi olarak mineral, vitamin, amino asit, tıbbi bitki veya diğer botanikler içermesi gerekmektedir. İnsanın toplam günlük alımını artırarak diyetini desteklemek için kullandığı bir diyet maddesi veya bu bileşenlerin bir konsantresi, metaboliti, bileşeni, özütü veya kombinasyonlarını da dahil etmelidir (Das, 2011).

Diyete ek olarak, bir gıdadan konsantre bir biyoaktif bileşen formu oluşturma özelliğine sahiptir. Çok sayıda çalışma, kemoterapi, radyoterapi ve cerrahi gibi çeşitli kanser tedavileri nedeniyle çeşitli yan etkilerin meydana geldiği söylenmektedir (Kour vd., 2022). Son zamanlarda bilimsel bulgular ışığında besin bileşenlerinin insan sağlığına olan etkilerini ortaya koyan, besin bileşenlerinin tablet veya şurup gibi farmasötik formlar halinde sunulan besin desteği kavramı ticari olarak artmıştır (Meriçli, 2017). Nutrasötikler, genel olarak insan sağlığını koruyan ve fizyolojik işlevi değiştirmede ve sürdürmede önemli rol üslenen gıda veya gıda parçalarıdır. Nutrasötik pazarının dünya çapında gelişmesinin başlıca nedenleri mevcut nüfus ve sağlık eğilimi olmasıdır (Dudak, 2011).

1.1. Nutrasötiklere Genel Bakış

Nutrasötik pazarlarına sahip önde gelen ülkeler arasında ABD, İngiltere ve Japonya yer alır (Das vd., 2012) ve nutrasötik kullanımı gelişmiş ülke nüfusunda %50-%70'tir. Bu sayı yaşa göre artmakta ve kadınların erkeklerden daha fazla nutrasötik kullandığı bilinmektedir. Güvenlik açısından bakıldığında, farmasötikler gibi yetkililer tarafından onaylanmamış olsalar da nutrasötiklerin güvenilir ürünler olduğu söylenmektedir (Télessy, 2019).

Nutrasötikler, fonksiyonel gıdalar ve takviyeler için pazara giriş gereklilikleri ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Çoğu temel vitamin ve mineral yaygın kabul görmüş olsa da diğer biyoaktif bileşenlerin ve bitkisel ürünlerden elde edilen bileşenlerin düzenleyici olarak kabul edilebilirliği değişmektedir. Birçok durumda yerel bir ülkeye veya bölgesel pozitif veya negatif listeye bağlı olduğu söylenmektedir. Çoğu bitmiş ürün bir gıda grubu

olarak düzenlenmektedir ve bu nedenle pazara giriş gereklilikleri kayıt, bildirim veya giriş olacak şekilde üç gruptan birine girme eğilimindedir. Her üç yaklaşımın da avantajları ve dezavantajları vardır ve bildirim dayalı bir yaklaşım tüketici erişimi ve seçimi ile halk sağlığını koruma arasındaki dengeyi sağlamaktadır (Shao, 2017).

İstanbul'da yapılan bir araştırmada 4 farklı sosyo-kültürel yapıya sahip yerleşim yerinde bulunan bireylerin vitamin kullanımı araştırılmıştır. Ankete katılan 1000 kişiden %34.6'sı vitamin kullandığını, %40.8'i bazen vitamin kullandığını, %24.6'sı vitamin kullanmadığını belirtmiştir (Coşkun & Turhan, 2009). Küresel pazarda nütrosötikler veya fonksiyonel gıdalar milyarlarca dolarlık bir pazar haline gelmektedir. Uluslararası alanda, bu alandaki büyümenin önünde önemli sınırlamalar ortaya çıkmaktadır. Nütrosötikler veya gıda takviyelerinin sağlık üzerindeki etkilerinin uygun şekilde etiketlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) hızla yol katederken Hindistan çok sayıda şifalı bitki, baharat ve ağaç türüne ev sahipliği yapmasından kaynaklı olarak büyük iç pazarı oluşturmaktadır (Murugesan vd., 2019).

1.2. Nütrosötiklerin İlgi Odağı Oluşu

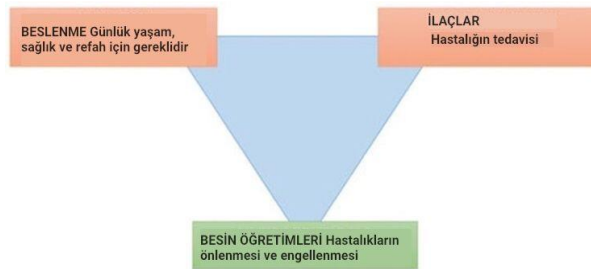
Birçok besin takviyesi fenolik bileşenler açısından oldukça zengindir ve insanlar tarafından günlük olarak tüketilmektedir. Nütrosötikler, yutulduktan sonra bağırsakta bulunur ve vücutta kolayca emilebilir bir özelliğe sahip olması, uzmanından randevu almayı gerektirmemesi ile reçetesiz kolayca temin edilebilir olması, nütrosötiklere kolay ulaşım sağlamaktadır. Besin takviyeleri, insanın kendini daha güçlü ve sağlıklı hissetmesine yardımcı olarak onlara daha fazla enerji vermesi ve hastalıkları önlemeye yardımcı olmasından dolayı bazı insanlar nütrosötiklere yönelmektedir (Murugesan vd., 2019).

Yutulmuş farmasötiklerin vücutta etkili bir dağılım göstermeleri için emilime uygun formda bulunması gerekmektedir. Hidrofilik nütrosötikler için, bu basitçe nütrosötüğün bağırsak sıvılarında tamamen çözünen kısmı olabilmektedir. Hidrofobik nütrosötikler için, bu nütrosötüğün ince bağırsak sıvılarındaki karışık misel içinde çözünen kısmı olabilir. Nütrosötik biyoyararlanım sınıflandırma şeması (NuBACS)'na, nispeten yüksek biyoerişilebilirliğe sahip nütrosötikler B (+) olarak adlandırılırken, nispeten düşük biyoerişilebilirliğe sahip olanlar B (-) olarak adlandırılmaktadır. Yüksek biyoerişilebilirliğe sahip nütrosötüğün uygun emilim bölgesinde emilime uygun formda bulunan >%75'i olarak tanımlanmaktadır (Failla vd., 2008; Panozzo vd., 2013).

Mikroalgler, küresel anlamda, en hızlı karbon tutan fotoototrofik organizmalardır. Krizlere etkili ve kapsamlı çözüm haline gelmekte olan mikroalgler, gelecekte gıda güvenliği ve çevre güvenliğini sağlayabilen alternatif kaynakları oluşturmaktadır. Mikroalg türleri, nütrosötik olarak bilinen tıbbi bir değere sahip biyolojik kaynaklardır. (Santhakumaran, 2020). Sarımsak, zencefil, zerdeçal, süt ürünleri, karotenoidler vb. gibi gıdalardan elde edilen nütrosötiklerin daha sağlıklı olma ve insan vücudunun ihtiyaç duyduğu tüm temel besinleri sağlayabilme açısından avantajlar sunmaktadır (Poojary vd., 2017; Putnik, Gabrić, Roohinejad, Barba, Granato, Lorenzo, vd., 2019; Putnik, Gabrić, Roohinejad, Barba, Granato, Mallikarjunan, vd., 2019; Tapal & Tiku, 2019).

2. Nütrosötikler ile Fonksiyonel Gıdalar Arasındaki Fark ve Sağlığa Etkileri

Nütrosötikler ile fonksiyonel gıdalar arasındaki ayrım çoğu zaman net değildir. Bunun sebebi ise tüketildikleri formdur. Nütrosötikler kapsül hap, tablet vb. olarak tüketilirken fonksiyonel gıdalar sıradan gıdalar olarak tüketilmektedir. Bu sebepten dolayı fitokimyasal bir gıda formülasyonuna dahil edildiği zaman fonksiyonel gıda olarak kabul edilmektedir. Kapsüle edilirse aynı fitokimyasal, nütrosötik olarak oluşacaktır (Bernal vd., 2011).



Şekil.1 Nütrosötik ve fonksiyonel gıdalar (Costagliola vd., 2021)

Şekil.1’de şematize edildiği gibi sağlıklı beslenme, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde yaşamı devam ettirme veya açlık hissini bastırmanın dışına çıkmıştır. Fiziksel ve psikolojik sağlık için sağlıklı beslenme adı altında çok fazla araştırma, değerlendirme ve uygulamalar mevcuttur (Canat, 2022). Rutin yiyecekler ile yeterli beslenmek mümkün olmadığı için ve bunun dışında son derece zehirli, kirliliklerle ve pestisitlerle dolu bir ortamda yaşıyor olmamızdan kaynaklı rahatsızlıklar artmaktadır. Sistemimizi veya arazimizi güçlendirmek için etkinliğini kaybetmiş antibiyotiğe razı olmak yerine vücut tarafından emilebilen takviyelerin kullanımı vücudu güçlendirerek canlılık katmayı sağlamaktadır (Murugesan vd., 2019). Nutrasötikler şu anda beslenme ve terapötik potansiyelleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Oluşumlarına göre diyet takviyeleri ve bitkisel biyoaktif bileşikler olarak iki sınıfa ayrılır. Bitkisel nutrasötikler sağlığın korunmasına ve optimum sağlık, uzun ömür ve yaşam kalitesini oluşturmada kullanılır. Nutrasötiklerin, kanser, nörodejeneratif hastalıklar, kardiyovasküler hastalıklar vb. gibi çeşitli hastalıkları tedavi etmek için umut verici sonuçlar vermektedir. Mevcut incelemede, nutrasötikler (karbonhidratlar, lipitler, yenilebilir çiçekler, alkaloidler, tıbbi bitkiler vb.) olarak hareket eden çeşitli biyoaktif bileşenlerin genel bir görünümü, sağlığa yararları ve çeşitli hastalıkların önlenmesindeki rolleri tartışılmıştır (Sachdeva, 2020). Örneğin, somondan elde edilen omega-3 yağı tıbbi gıda olarak bilinir. Kilo kaybı ve kanser tedavisi için yeşil çay ve bilişsel işlevi iyileştirmek için Ginkgo biloba, nutrasötik olarak yaygın şekilde kullanılır (Murugesan vd., 2019).

Nütrosötiklerin cilt yaşlanmasına karşı ve cilt sağlığı üzerine birçok çalışma yapılarak dermatologların mekanizmayı anlamaları sağlanmıştır. Örnek olarak N-asetilsistein vücudun antioksidan savunma sisteminde rol oynar. İnsanlar yaşlandıkça glutatyon sentez oranı düşer ve bu da oksidatif stresi artırarak yaşlanmaya sebep olur (Failla vd., 2008; Panozzo vd., 2013; santhakumaran, 2020). Yapılan çalışmalarda A, D, E, K, B (6), B (12) gibi vitamin çeşitlerinin incelenmesi sonucu; bazı vitaminin yetersiz alımı veya emilimi açısından yaşlıların, veganların, alkol bağımlısı bireylerin ve malabsorpsiyonu olan hastaların daha yüksek risk altında olduğunu gösterilmiştir. Erken gebelikte aşırı doz A vitamini ve zaman dilimi fark etmesizin alınan yağda çözünen vitaminler istenmeyen etkiler oluşturabilir. Nötral tüp defekti ve bazı kanserler yetersiz folat durumundan kaynaklıdır. Kanser riskini E vitamini ve likopen azaltabilir. Kırık oluşumu riskini azaltmak için D vitamini kalsiyumla birlikte alınmalıdır gibi çok fazla bileşene örnekler verilerek ilişkilendirmeler yapılabilir (Fairfield & Fletcher, 2002).

Nüfusun yüksek bir kısmı takviye olarak vitamin alımını iyileştirmektedir. Bununla birlikte, takviye alımı dahil referans değerinin altında kalan veya tavsiye edilen miktarın %100’ünü tüketen bireylerde bulunmaktadır. Recommended Dietary Allowance (RDA)’dan yüksek oranda ise belirli hastalıkların görülme sıklığını düşürmektedir. Toksikite ve sağlık riski açısından bazı vitaminlerin (A, D, folik asit, B6, nikotinik asit ve beta-karoten) aşırı alımları risk oluşturmaktadır. Bundan dolayı yüksek doz kullanımı sınırlandırılır. (JSchrijver Hvanden Berg, 2003).

2.1. Gıda Takviyelerinden Nütrosötiklere Gidiş

Reçete belirlemede aktif bileşenler ya da yardımcı maddelerin kullanılacağına karar verilmektedir. Bu işlemin ardından granülasyon işlemi gelir, yaş ve kuru biçiminde iki şekilde yapılmaktadır. Öğütülme adımının ardından karışıma, kurutmayı desteklendirme ve partikül büyüklük dağılımını sınırlandırma gibi nitelikler verildikten sonra presleme adımına geçilir. Preslemede en önemli safhalar ise; akış, püskürtme ve baskılamadır. Ardından tablet yapımı basamağında, genelde kaplama işlemine de gereksinim olmaktadır. Kaplama işlemi tableti daha sert ve dayanıklı biçime getirir, tadını artırır, renk verir, daha rahat tutulmasını ve paketlenmesini sağlar. Bu aşamalar uygun solüsyonun tablet üzerine spreyleneşmesi ile sağlanır daha sonra kurutma yapılır. Kapsülleme için birçok farklı malzemeyi doldurma niteliğine sahip kapsül makinesine ihtiyaç vardır. Tozlar, granüller ve sıvılar iki parçalı kapsülün içine doldurulur ve üretime alınır (Anon).

Sprey kurutmanın gıda işleme uygulamalarında diğer geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla farklılıklara sahiptir. Esas olarak gıda sektöründe biyoaktif bileşikler veya fonksiyonel gıdaları ışıktan, sıcaklıktan, oksidasyondan vb. korumak için sprej kapsülleme kullanılmıştır. Sprej kurutma sadece sıvıların kurutulmasına

katkıda bulunmakla kalmamış, aynı zamanda değerli gıdaların ve fonksiyonel-nutrasötik bileşenlerin kapsüllemesi ve mikrokapsüllemesinde de hayati bir rol oynamaktadır ve sprey kurutma ile mikrokapsülleme, diğer kapsülleme yöntemlerine kıyasla maliyet açısından etkili tek adımlı bir işlemdir (Murugesan ve Orsat, 2012).

Metabolik tasarım, biyosentetik yolların düzenlenmesine yardımcı olur ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) de dahil olmak üzere nutrasötiklerin önemli üretimi için mikroorganizmaları yönetmektedir. Bu, basit karbon kaynaklarını kullanarak nutrasötikler üretmek için tasarlanmış mikropları geliştiren stratejilerden bir tanesidir (Darvishi vd, 2018).

2.2. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Tedavi Edici Gıda Alanında Değerlendirilmesi

İnsanların bitkilerle ilişkisi; bitkilerin daha yüksek yaşam formları için gerekli oksijeni, yiyeceği, yemi, barınağı ve ilacı sağladığı yeryüzündeki yaşamın başlangıcından itibaren ortaya çıkmaktadır (Mamedov & Craker, 2012). Tıbbi ve aromatik bitkiler; insanlar tarafından ilk olarak şifa amaçlı ilaçlar, yiyecek ve içecekler için tatlandırıcı maddeler ve doğaüstü tanrılarla mistik etkileşimler için zihinsel uyarıcılar olarak kullanılan kimyasal bileşenleri içermektedir. Bitki materyalleri, tıbbi sorunları tedavi etmede modern ilaç üretimi için kaynak olmakla birlikte damak zevkini cezbeden otlar, baharatlar ve çok sayıda farklı uygulamada insan hayatı için olumlu rollere sahiptir (Inoue & Craker, 2014). Doğal bitkilerdeki aktif bileşenlerin içeriği; mevsime, iklime, sıcaklığa, neme, toprağa ve diğer çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Bu da nutrasötiklerin üretim ve tüketimindeki sorunları oluşturmaktadır. Bundan dolayı tekdüze kalite, miktarlandırma ve standardizasyonun toplanması, tanımlanması ve sürdürülmesi dikkate alınması gereken kritik faktörler olarak gelmektedir (Bernal vd., 2011). Tıbbi ve aromatik bitkiler, farklı bölgelerinden elde edilen bileşenlerin hastalıkların tedavisinde önemli yararlar sağlamaktadır. Farklı yöntemlerle (tüm, öğütülmüş, ekstrakt, ekstre veya uçucu yağlar) uygulanan tıbbi ve aromatik bitkilerin (TAB) geniş kullanım alanı, içerdikleri aktif kimyasal bileşiklerden (sekonder metabolitler) kaynaklıdır. Sekonder metabolitler, bitki materyaline ve bileşenine bağlı olarak bitkinin dokusundan; damıtma, ekspresyon, sıvılaştırılmış gazlar, anfloraj, maserasyon veya çözücüler ile ekstre edilmektedir. Farmakolojik açıdan yararlı bitki ekstraktlarının kullanımı birçok ülkede doğal üretilen ilaçlarda kabul görmektedir (Maciej Serda vd, 2017; Mohammed vd., 2020).

Bazı bitkisel ürünlerin klinik olarak faydaları vardır fakat birçoğunun özellikle ilaçlarla etkileşim açısından potansiyel olarak toksik maddeler içermektedir. Bunlara polifenolik madde, karotenoidler, soya izoflavonları, balık yağları örnek verilebilir (Halsted, 2003). Mevcut bir çalışmada, yedi farklı kurutma işlemi ile *Salvia officinalis* L.'nin (ada çayı) metanol ekstraktının toplam fenolikleri, flavonoidleri, bireysel fenolikleri ve antioksidan aktivitesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Adaçayının ekstre edilen bu bileşikleri gıda takviyeleri ve ilaç yapımında başrol durumundadır (Hamrouni vd., 2011). Mevcut çalışmalar çoğaltılabilir; ishal, dizanteri, mide ağrısı, sindirim bozukluğu ve diğer bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde kullanılan Ensete gillettei (Musaceae familyası) fitokimyasal bileşenleri ve antibakteriyel potansiyelleri araştırılmıştır. Kök fraksiyonlarının (S1-S4) fitokimyasal taraması, alkaloidler, karboksilik asitler, flavonoidler, fenolik bileşikler, flobatanninler, indirgeyici şeker, tanenler ve terpenlerin varlığı ortaya konulmuştur (Tanko vd.,2020).

3. Nutrasötiklerin Sınıflandırılması

Şekil.2 şematize edildiği gibi birinci olarak geleneksel nutrasötikler; kimyasal bileşenler, besinler, bitkiler, fitokimyasallar, probiyotik organizmalar ve nutrasötik enzim olarak ayrılmaktadır. Daha sonra geleneksel olmayan nutrasötikler; güçlendirilmiş nutrasötikler ve rekombinant nutrasötikler olarak belirlenmiş beslenme şekline sahip maddeler; vitaminler mineraller, aminoasitler ve yağ asitler adı altında sıralanırken, otlar veya botanik ürünler de diğer bir grubu oluşturmaktadır. Ardından diğer kaynaklardan elde edilen reaktif kaynaklar; pirüvat, kondronitin sülfat, steroid hormon öncüleri olarak sınıflandırmaya girerken daha sonra fonksiyonel gıdalar, probiyotikler ve

prebiyotikler de başka bir alt dalı meydana getirmektedir. Diğer bir sınıf çoklu doymamış yağ asitleridir ve son olarak antioksidan vitamin olarak sınıflandırma son bulmaktadır (Murugesan vd., 2019).



Şekil.2 Nutrasötiklerin gruplandırılması

Nütrasötikler daha geniş açıyla incelendiğinde iki gruba ayrılmaktadır.

- Potansiyel nutrasötikler
- Yerleşik nutrasötiklerdir (Pandey vd., 2010).

Potansiyel bir nutrasötik, sağlık ve tıbbi faydalarının etkili klinik verileri toplandıktan sonra yerleşik ürün haline gelebilmektedir. Amino asitler, mineraller, vitaminler, yağ asitleri, enzimler, prebiyotikler, probiyotikler, simbiyotikler, pigmentler, şifalı otlar, bitki özleri, antioksidanlar, organik asitler, tatlandırıcı maddeler vb. gibi besin maddeleri ve besin olmayan maddeleri içerir. Diyet nutrasötik bileşenlerinin rafine edilmiş hali, geleneksel formlarla karşılaştırıldığında daha iyi sindirim, emilim, kullanım, metabolizma ve faydalı sağlık etkileriyle sonuçlanmaktadır (Das vd., 2012).

3.1. Aminoasitler

DNA'ya kodlanmış doğru aminoasit dizileri, proteini oluşturmaktadır. Taşıyıcı RNA'lar aracılığı ile aminoasitler ribozoma iletilerek polipeptitler mRNA'daki kodlarla eşleştirilerek üretilir. Esansiyel aminoasitler insan vücudu tarafından sentezlenemediği için gıda yoluyla alınması gerekmektedir. Temel amino asitler; histidin (His), izolösin (Ile), lösin (Leu), lizin (Lys), metiyonin (Met), fenilalanin (Phe), treonin (Thr), triptofan (Trp) ve valin (Val)'dir. Geriye kalan temel olmayan proteojenik amino asitler şu şekildedir; glutamin (Gln), aspartat (Asp), glutamat (Glu), arginin (Arg), prolin (Pro), sistein (Cys), selenoCys, asparagin (Asp), serin (Ser), glisin (Gly) ve tirozin (Tyr)'dir. Hem oral hem de tropikal biyoyararlanıma sahip olup L-sisteinin ön ilaç formudur. Vücutta en bol bulunan endojen hücre içi antioksidan olan glutatyonu ortaya çıkarmaktadır (Riedijk vd., 2007; De Paepe, 2023).

Amino asitler, R grubunun yapısına bağlı olarak nötr, asidik ve bazik olmak üzere 3 gruba ayrılarak proteinlerin ve peptitlerin yapı taşı olarak hizmet vermelerinin dışında çeşitli önemli işlev ve görevleri bulunmaktadır (Lopez & Mohiuddin, 2024). Bunlara; metabolizmada, nörotransmisyon ve hücreler arası sinyalleşmede rol oynaması örnek olarak verilebilir (Dietzen, 2018). Ayrıca aminoasitler antimikrobiyal, antioksidan, immünostimüle edici, antitrombotik ve antiinflamatuar aktivitelere de sahiptir (Bernal vd., 2011). Metiyonin, optimum büyüme performansında ve önemli biyokimyasal süreçler ile kas büyümesinde yer almaktadır. Treonin, vücuttaki proteinlerin sentezi ve bakımı için oldukça önemlidir ve bağırsak sağlığında mukusun temel bileşenini oluşturma gibi önemli yere sahip olup ürik asit oluşumu gibi metabolik süreçte de rolü vardır. Treonin, bağırsak gelişimini iyileştirmede kullanılır ve bağırsak protein sentezinde ve anti-besinsel faktörler ile patojenlerden korumaktadır.

Bundan dolayı yüksek treonin ile beslenen kişilerde iyi bir bağırsak sağlığı gözlemlenmektedir. Sistein, metiyonin ve serinden trans-sülfürasyon yoluyla sentezlenmesinden kaynaklı yarı-esansiyel aminoasit formundadır. Protein yapısı ve işlevinde ve oksidatif strese karşı korumada kritik rollere sahiptir. Arjinin, bağışıklık foksionunu iyileştirebilmek için potansiyel bir immünomodülatör ajandır. Bunun dışında büyüme performansını arttırmaktadır. Gulutamin, bağışıklık ve bağırsak mukoza hücrelerinin çoğalması için azot ve enerji kaynağıdır. Enfeksiyon, yaralanma, yüksek sıcaklık gibi stres koşullarındaki hayvanlardaki temel besin kaynağıdır. (Kidd & Kerr, 1996; Lien vd., 1997; Obled, 2003, 2003; Stipanuk, 2004; Lee vd., 2007; Goulart vd., 2011; Xu., 2018).

L-arginin, N-asetilsistein ve taurin en çok araştırmalar arasında olarak ümit verici sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Yararlı etkileri arasında iskelet-kas dokularında inflamatuvar, oksidatif, fibrotik ve nekrotik hasarın azaltılması yer alarak kas gücü ve dayanıklılığında iyileşme bildirilmektedir; ancak hafif yan etkiler de ortaya çıkmıştır (De Paepe, 2023). N-asetilsistein, hem oral hem de tropikal biyoyararlarına sahip olup L-sisteinin ön ilaç formudur. Vücutta en bol bulunan endojen hücre içi antioksidan olan glutatyonu ortaya çıkarır böylece vücudun antioksidan savunma sisteminde önemli rol oynar. Glutatyon sentez oranı yaş ilerledikçe azalır ve glutatyon miktarında azalmalar oluşur, bu da vücudu oksidatif strese karşı dayanıksız hale getirir. Oksidatif stresin artması sonucunda da DNA hasarı ve yaşlanma oluşmaya başlar (Kang vd., 2003; Sekhar vd., 2011; Cassidy vd., 2017).

3.2. Karotenoidler

Karotenoidler; karotenler ve ksantofiller olarak iki sınıfa ayrılır (Bernal vd., 2011). Karotenoidler, gıda kalitesi ve sağlık gelişiminde önemli olan çok yönlü izoprenoidlerdendir (Meléndez-Martínez vd., 2021). Karotenoidler, yaklaşık %20'si insan dokularında ve kanında bulunan 600'den fazla yağda çözünen bitki pigmentlerinden oluşmuş bitki ailesine sahiptir. Güçlü reaktif oksijen türlerinden (ROS) oluşarak cildi oksidatif stresten korumaktadır. Karotenoidler insan ve hayvanlarda tarafından sentezlenmediği için gıda ve takviyelerin yutulması yoluyla vücuda alınır. Karotenoidlerin cilt konsantrasyonları, bileşenlerin yutulmasıyla artar ve oksidatif stres ve UV maruziyetleri ile azalır. Karotenoid ailesinde dört ana bileşen vardır. Bunlar; β -karoten, likopen, lutein ve zeaksantindir (Evans & Johnson, 2010; Fiedor & Burda, 2014).

İnsanlarda peroksil radikallerini ve singlet oksijeni temizlemede karotenoidler etkilidir. Diyet karotenoidlerinin, belirli kanserler, kardiyovasküler hastalıklar ve göz hastalıkları dahil olmak üzere çeşitli hastalıkların önlenmesinde yararlı olduğu düşünülür. Karotenoidlerin bu tür biyoaktiviteleri nedeniyle genellikle besin takviyelerinde, cilt bakım kozmetiklerinde ve farmasötik ürünlerde ve ayrıca gıda ve yemler için doğal bir renk olarak kullanılmaktadır. Karotenoidler genel olarak yüksek antioksidan aktivite gösterse de biyoaktivite yapıya bağlı olarak değişir. Örneğin, lutein ve zeaksantin göz hastalıklarının önlenmesinde etkilidir ve fükoksantin güçlü bir anti-obezite aktivitesi gösterir (Ranard vd., 2017; Honda, 2020; Meléndez-Martínez vd., 2021).

Renksiz karotenoidler fitoen ve fitofluen, karotenoid ailesinde nadir bulunanlara örnek olarak verilebilir. Gıda bilimi, beslenme ve sağlık alanlarında giderek artan, renksiz UV radyasyonu (UVR) emen diyet karotenoidleri fitoen ve fitofluene odaklanmaktadır. Bu benzersiz UVR emen karotenoidlerin, ayırt edici yapıları, özellikleri (ışık emilimi, oksidasyona duyarlılık, sertlik, agregasyon eğilimi veya fitofluen durumunda floresans) ve aktivitelerinin bu bağlamlarda yararlı olabileceğine dair artan kanıtlar bulunmaktadır (Meléndez-Martínez vd., 2019). Karotenoid bakımından zengin *Capsicum annuum L.* olgun meyveleri kullanılarak Rubefiyan etkisinden dolayı haricen romatizma, lumbago, burkulma tedavisinde kullanılmaktadır hatta dispepsiye karşı da etki göstermektedir. Likopen insan vücudunda sentezlenmez ve en çok domateste bulunur. Ayrıca likopen pişirildikten sonra etkisini kaybetmek yerine daha çok arttırarak kardiyovasküler sağlık, solunum sağlığı ve kanserden koruyucu etkilere sahiptir (Tekin vd., 2022). Artan diyetle lutein/zeaksantin alımı serum konsantrasyonlarını ve makuler pigment yoğunluğunu arttırmaktadır ve bu belirteçler, görsel işlevde iyileşmeler ve yaşa bağlı makule dejenerasyon (AMD) riskinin azalmasıyla ilişkilidir (Johnson, 2014). β -karoten, A vitamininin öncüsüdür ve serbest radikal ve singlet oksijen kaynaklı lipid peroksidasyonunu inhibe ederek vücudu hücrel hasardan korur. Bunun dışında minimal eritem dozunu (MED) arttıran ve güneş yanığı gelişimine ve bağışıklık sisteminin foto supresyonuna karşı koruyan

foto fotokaruyucu özelliği mevcuttur. Yeşil yapraklı sebzeler, turuncu kök sebzeler ve sarı veya turuncu meyveler β -karoten açısından zengin besinlerdir. β -karoten A vitamini açısından zengin olmasından dolayı RDA, A vitamini tüketim yoluyla belirlenmektedir. Uzun vadeli β -karoten takviyesi akciğer kanseri riskinin artmasıyla ilişkilendirilerek takviyeye erişim sırasında optimum günlük alımı belirlemek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Evans & Johnson, 2010; Fiedor & Burda, 2014).

3.3. Yağ Asitleri

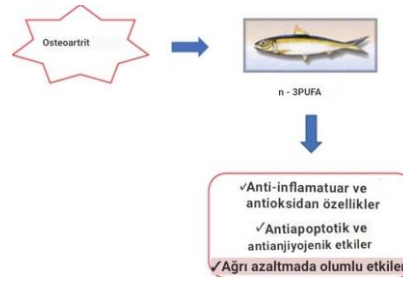
Yağ asidi takviyesi, vücutta kendiliğinden gerçekleşen doğal süreçlere katılmaktadır. Zar oluşumu, lipit yeniden şekillenmesine ve zar tabanlı sinyalleşme örnek olarak verilebilir (Ferreri vd., 2022). Trigliseritlerden türevlenen bitkisel ve hayvansal yağ asitlerine doymamış yağ asitleri denir ve bunların çoğu vücutta sentezlenir fakat esansiyel yağ asitleri vücut tarafından sentezlenemediği bilinmektedir. Bunlara genellikle balık ve bazı bitkilerde bulunan linoleik asit, eicosapentaenoik asit (EPA), docosaheksaenoik asit (DHA), α -linolenik asit (ALA) ve γ -linolenik asit (GLA) bileşikler örnek verilebilir. Bol miktarda doymamışlık taşıyan polyunsaturated fatty acids (PUFAs) bileşikler olarak adlandırılmaktadır. (Meriçli, 2017).

Esansiyel yağ asitleri, iki gruba ayrılan omega-3 ve omega-6 adlı uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitlerini oluşturmaktadır. Omega-3 yağ asitleri linolenik asitten oluşurken, omega-6 yağ asitleri linoleik asitten (LA) oluşmaktadır. LA, epidermiste en yüksek yağ asidi konsantrasyonuna sahiptir ve önemli bir yapısal bileşen görevini üstlenmektedir. Omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri ise önemli bir anti-inflamatuar rol oynamaktadır. ALA, EPA ve DHA gibi çoklu doymamış yağ asitleri, prostaglandinler, lökotrienler, tümör nekroz faktörü-a, interferon-Y ve interlökinler-12 ve -6 gibi proinflamatuar sitokinlerin oluşumunu engellemektedir (Draelos, 2010; McCusker & Grant-Kels, 2010; Kendall vd., 2017; Wang vd., 2017).

Çoklu doymamış omega-3 yağ asitleri yaygın olarak kullanılan diyet takviyeleri haline gelmiştir ve bu yağlar, kirli yağ veya balık yağlarından saflaştırılan dokosaheksaenoik ve eikosapentaenoik asit karışımları (DHA ve EPA olarak da bilinir) şeklinde alınmaktadır. Anti-inflamatuar özelliklere sahip metabolitler ve kardiyak miyositlerdeki iyon kanalları üzerinde elektriksel stabilizasyon etkilerine sahip olduğu söylenmektedir. Balık yağı ve omega-3 yağ asitlerinin, günde 1.000-2.000 mg/kg vücut dozlarında bile iyi tolere edildiği ve toksisiteye dair kanıtlar azdır. Ancak A vitamini ve multivitamin takviyeleri balık karaciğeri yağlarının eş zamanlı tüketimi hipervitaminoz A ile sonuçlanmıştır (Buckley vd., 2004; Sierra vd., 2004; Leaf vd., 2008; Gross vd., 2017).

Çeşitli mekanizmalar eşliğinde peroksidasyon reaktivitesi, Omega-3 PUFA kanser hücresi apoptozunu tetikleyerek tümör hücrelerinin geleneksel tedavilere duyarlılığını artırmak için sinerji oluşturur ve tedaviye dirençli kanserler için ilginç uygulamalar sunmaktadır (D'Eliseo & Velotti, 2016; Ferreri vd., 2022). Omega-3 yağ asitleri majör yağ asidi olan docosaheksaenoik asit (DHA)'tir. Terapötik olarak eklem, kardiovasküler sistem, göz ve mental sağlık, kanserden koruyucu, kemik, solunum sistemi sağlığı, deri ve veteriner hekimlik gibi alanlarda kullanılır. Özellikle *Oenothera biennis* bitkisinin tohumlarından elde edilen γ -Linolenik, Evening Primrose Oil ismi ile de bilinmektedir. Terapötik olarak cilt sağlığı, eklem sağlığı gibi alanlarda etki sağlamaktadır (Meriçli, 2017).

Osteoartrit (OA) tedavisi için nurtrasötikler üzerine yapılan araştırmada doymamış yağ asitleri (n-3 PUFA'lar), anti-inflamatuar, antioksidan ve kondroindüktif etkileri nedeniyle OA ve sonuçlarına karşı koymada potansiyel adaylar olarak görünmektedir. Bu etkiler şekil.3'te şematize edilmiştir. PUFA'ların, kemik ve kırıldak yıkımını azaltarak, proinflamatuar sitokin salınımını, reaktif oksijen türleri (ROS) oluşumunu ve NF- κ B yolunun aktivasyonunu inhibe ederek OA'nın başlangıcını ve ilerlemesini engellediği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, eikosapentaenoik (EPA) ve dokosaheksaenoik (DHA) asitlerin asitlerin anti-inflamatuar ve antioksidan özellikleriyle beraber antiapoptotik ve antianjiyojenik etkilerinin OA gelişimini azaltmaya yardımcı olmuştur (Ahmad vd., 2020; D'Adamo vd., 2020; Oppedisano vd., 2021).



Şekil 3. Yağ asitleri örnek etkileri (Oppedisano vd., 2021)

3.4. Mineraller

Nutrasötik mineraller, biyokimyasal reaksiyonlar için substrat olarak önemli bir role sahiptir. Enzimatik reaksiyonların yardımcı faktörleri, enzimatik reaksiyonların inhibitörleri, besin emilimini veya stabilitesini iyileştiren bileşikler, yararlı gastrointestinal bakteriler için seçici büyüme faktörleri, yararlı oral, gastrik veya bağırsak bakterileri için fermentasyon substratları, zararlı bağırsak bakterilerinin seçici inhibitörleri ve olumsuz bileşiklere bağlanan ve onları uzaklaştıran emiciler ve bağlayıcılar olacak şekilde mineraller insan sağlığında önemli bir yerde durmaktadır (Kendall vd., 2017). Mikronutrient, yetersiz beslenmeyi azaltabilmek için diyetle nutrasötik eklemeliyi uygular. Gıdalara uygulanan mikronutrientlerin bazı örnekleri arasında demir, iyot, kalsiyum, çinko ve A ve D vitaminleri ile çeşitli B vitaminleri bulunmaktadır (Li vd., 2023). Seleoproteinlerin önemli bir bileşeni olan selenyum (Se) bir eser mineraldir ve hormon metabolizması ile DNA sentezi için gereklidir. Se, doğuştan ve adaptif bağışıklıkların işlevinde kritik bir rol almaktadır. Bu immünomodülatör özellik, viral ve diğer patojenle ilişkili hastalıklara karşı önemli bir yere sahip olabilir. Yapılmış çalışmalar, Se'nin HIV, Ebola, hepatit C ve çocuk felcine karşı antiviral tedaviye yardımcı olabileceğini gösterilmektedir (Guillin vd., 2019; Srivastava vd., 2022). Zn takviyesi, viral hastalıkların seyriyi kısıltabildiğini göstermektedir. Çünkü Zn doğrudan antiviral bağışıklığı düzenleyebilir ve konak hücreler içinde viral replikasyonu engelleme özelliğine sahiptir. Tuzların viral replikasyon inhibisyon derecesi üzerindeki etkisi Zn'nin doza bağlı olarak, virüs üzerinde doğrudan bir etki hücrelerin respiratuar sinsiyal virüsü (RSV) replikasyonunu destekleme yeteneğini değiştirip RSV replikasyonunu engellediği ortaya atılmıştır. Popülasyonlar, Zn eksikliği nedeni ile HIV veya hepatit C gibi viral enfeksiyonlara karşı daha duyarlı hale gelmektedir (Geist vd., 1987). Mg kofaktör ve aktivatör olarak görev yapar ve hücre fonksiyonunun, RNA ve DNA sentezinin ve hücre onarımının istikrarı için ve hücrenin antioksidan özelliğini devam ettirebilmek için gerekmektedir. Mg'un bağışıklık yanıtta, yani immünooglobulin sentezi, C'3 konvertaz, bağışıklık hücresi yapışması, antikor bağımlı sitoliz, IgM lenfosit bağlanması, lenfokinlere makrofaj yanıtı ve T yardımcı-β hücre yapışması için bir kofaktör olarak önemli bir yere sahiptir. Eksikliği ise sıklıkla inflamasyona neden olarak T hücrelerini azaltarak bağışıklığı tehlikeye atmaktadır. Bunların dışında timusta apoptoz düzeylerini artırır ve trombosit bağımlı trombozu artıran anti-trombosit aktivitesini başlatmaktadır (Baaij vd., 2015). Çinko, hücrel aktivite ve savunma için önemli bir yardımcı etmenddir. Lipid peroksidasyonuna, UV kaynaklı sitotoksisteye ve makrofajlar tarafından sitozol içinde üretilen ve dağıtılan ROS tarafından uyarılan oksidatif strese karşı vücudu korumaktadır. Çinko; tam tahıllarda, kırmızı ette, deniz ürünlerinde doğal olarak bulunan tahıl gibi ürünlerde zenginleştirilmiş temel bir mineral kaynağıdır. Cildin çinko depolarının çoğunluğu epidermiste bulunur. Burada epidermal proliferasyon ve keratinosit farklılaşması için ihtiyaç duyulan bir elementtir. Çinko, yara iyileşmesinde ve keratinosit hücre korunmasında önemli bir yere sahiptir. Bunun dışında, keratinositlerin proinflamatuvar bir belirtici olan hücreler arası yapışma molekülü engelleyerek ve nitrik oksit üretimini azaltan bir antiinflamatuvar bir elementtir. Demir, bakır, kalsiyum, fosfat ve folat gibi elementlerin değişen konsantrasyonları vücuttaki çinkonun biyoyararlanımını etkilemektedir. Çinko'nun biyoyararlanımı esas olarak insan bağırsaklarında bulunan çinkonun emilim ve yeniden emilim özelliklerine bağlıdır. Çinko; öğütülmemiş tam tahıllar, kırmızı etler ve deniz ürünleri gibi gıdalarda en yüksek diyet konsantrasyonlarında bulunur (Baaij vd., 2015; Srivastava vd., 2021).

3.4. Polifenoller

Bitkinin tüm kısımlarında yer alarak meyve, sebze ve içecekler diyetin bir parçasını oluşturmaktadır. Metabolik sendrom ve kanser gibi kronik hastalıkları iyileştirmek veya önleme açısından Akdeniz diyeti gibi polifenol açısından zengin diyetlerin iyi geleceği düşünülmektedir. Farmakolojik olarak önemli polifenol sınıfları arasında kumarinler, kromonlar, ksantonlar, stilbenler ve flavonoidler bulunmaktadır. Flavonoidler, bitki polifenolik

bileşiklerine kıyasla en yaygın olanı olup flavonlar, flavonoller, flavanoller, izoflavonlar, flavanonlar, antosiyanidinler ve proantosiyandinlerin alt sınıflarını içermektedir.

Zencefil ailesinden (*Zingiberaceae*) çok yıllık otsu bir bitki olan *Curcuma longa*'nın (zerdeçal) rizomlarından elde edilen sarı bir hidrofobik polifenol olarak yıllardır Ayurveda tıbbında dispepsi, enfeksiyonlar ve karaciğer hastalıkları gibi bir dizi hastalığı tedavi etmek için kullanılmaktadır. Polifenol ailesinin tek molekülleri, bağışıklık sisteminin hücreleri ve araçları ile farklı etkileşimler gösterebilir ve hem immün uyarıcı hem de immün modüle edici etkiler gözlemlenmektedir. Kurkuminin anti-inflamatuar özellikleri, kemokinler, siklooksijenaz-2, prostaglandin E2, MMP'ler, IL-6 ve IL-12 gibi interlökinler (IL) ve tümör nekroz faktörü- α dahil olmak üzere pro-inflamatuar sitokinleri baskılama yeteneği sahiptir aynı zamanda, kurkumin ROS üretimini baskılayarak, serbest oksijen radikallerini temizleyerek ve lipid peroksidasyonunu inhibe ederek bir antioksidan görevine sahiptir (Deguchi, 2015; Mazzanti & Di Giacomo, 2016; Sreedhar vd., 2016; Andrew & Izzo, 2017). Çay polifenollerinden olan yeşil çay, terapötik alanda kardiyovasküler sağlık, kemik, cilt ve ağız sağlığı, kanserden koruyucu, kilo verdirici (antioksidan) özelliklere sahiptir (Meriçli, 2017). Katabolizmin tanenleri yani proantosiyandinler, meyve, sebze ve kabuklu yemişlerde bol bulunan polifenollerdendir. Proantosiyandinler, serbest radikal temizleme ve antioksidan özelliklere sahip olmalarının dışında potansiyel olarak ilgili antimikrobiyal, anti-tümör, anti-inflamatuar ve kardiyoprotektif etkiler göstermektedir (Smeriglio vd., 2017).

3.5. Vitaminler

Vitaminler, organik bileşikler sınıfına giren ve genellikle enerji sağlamadan vücut fonksiyonlarının düzgün çalışmasını sağlayan ve dışarıdan hazır olarak alınan temel mikrobeyimlerdir. İstisnai olarak sadece D ve B12 vücut tarafından üretilmektedir (Meriçli, 2017). Vitamin insan için vazgeçilmez bir gıda bileşeni olup, riboflavin ikinci olarak izole edilen vitamindir ve B2 vitamin kompleksinden elde edilen ilk vitamindir (Northrop-Clewes & Thurnham, 2012). Vitaminler, normal büyüme ve yaşamın devamlılığı için eser miktarda alınması gerekmektedir. İnsanlarda 13 vitamin vardır ve fizyolojik reaksiyonlarına göre iki sınıfa ayrılır. Lipofilik yapıda olan vitaminler; A, E, K ve D vitamini; A vitamininin işlevsel özelliklerini gösteren karotenoidlerle konjuge olarak içermektedir. Bir diğer yapı hidrofilitiktir; vücudun hayati fonksiyonlarıyla birlikte hareket eden tiamin (B1), riboflavin (B2), nikotinik asit (B3), piridoksin (B6), pantotenik asit (B5), folat ve siyanokobalamin (B12) içeren B vitaminleri grubu olan C vitaminini içermektedir. Yapılarına bağlı olarak vitaminler farklı biyolojik özellikler gösterirler. Mesela provitaminler, vitaminlerin özelliklerini göstermezler ve fakat metabolizma süreciyle vitaminlere dönüşen organik bileşiklerdendir. Güneş ışığı, vücutta D vitamininin sentezini gerçekleştirmekte görevlidir. Bu bileşiklerin birçok biyokimyasal rolü vardır, güçlü kemikler ve ağız sağlığını arttırmakla birlikte ölümcül kanser ve kardiyovasküler sistem hastalıklarını önlemek ve bazıları mineral metabolizmasını düzenler. A vitamini, hücre ve doku büyümesi ve farklılaşmasını düzenleyerek hormonlara benzer işlevleri vardır. Vücudun bağışıklığını ve görme yeteneğini iyileştirmeyi, cilt sağlığını güçlendirmeyi ve kanseri önlemeye yardımcı olmayı sağlamaktadır. Geriye kalan vitaminlere örnek olarak B vitamini antioksidan olarak görev yapmaktadır (Bernal vd., 2011; Gupta., 2020).

Epidermis insanlar için D vitamininin ana kaynağı olarak kabul ediliyor çünkü ultraviyole radyasyon (özellikle UVB) 7-dehidrokolesterolün D vitaminine dönüşmesine yol açmaktadır (Bikle, 2012; Lai-Cheong & McGrath, 2017; Dąbrowska vd., 2018; Pérez-Sánchez vd., 2018). Vitamin D (VD) doğuştan gelen bağışıklık hücrelerinin kemotaksisini, mikrobisidal aktivitelerini, otofajiyi ve antimikrobiyal işlevi olan çözünür mediatörler olan defensin ve katelisinlerin üretimini artırmaktadır. VD ayrıca hem deride hem de akciğerde epitel bariyer fonksiyonunun artmasına neden olup, tip II pnömositlerin olgunlaşmasını uyarma, sürfaktan üretimini destekleme ve hava yollarında doğuştan gelen bağışıklık tepkisini artırma gibi bağışıklık tepkisine katkıda bulunmaktadır (Costagliola vd., 2021). Filokinon olarak bitkilerde doğal olarak bulunan K vitamini, trombogenezi destekler ve böylece kanın pıhtılaşmasına yardımcı olur. K vitamini pulmoner ve vasküler lif hasarına karşı koruma sağlayan ekstraselüler matris Gla proteinini aktive eder ve K vitamini eksikliğinde pnömoninin patajonleri ve komplikasyonları oluşabilir (Srivastava vd., 2022). Epidemiyolojik çalışmalar, A, E, D ve C vitaminleri ve beta-

karatenin yanı sıra folik asit, B vitaminleri, niasin, magnezyum, çinko, selenyum ve kromum kardiyovasküler hastalıklar ve kansere bağlı morbidite ve morfalite riski ile ters orantılı olduğunu demir, kalsiyum, magnezyum, folik asit, B vitaminleri gibi gösterilmektedir (Rai vd., 2022).

CoQ10 (Koenzim Q 10), çok fazla yiyecekte bulunur ve doğada yaygınlığının fazla olması “Ubiqueuse-evrensel” özelliği onun “Ubiquinone” diye de anılmasına sebep olmuştur. Hayvanda ve bitki türlerinin çoğunda bulunmaktadır. En fazla da kırmızı ette, balık ve yumurtada rastlanmaktadır. Daha sonra yağlı tohumlar, yeşil yapraklı yiyecekler ve meyvelerde Koenzim Q 10’ içermektedir. Koenzim Q 10, kardiyovasküler sağlık, kanserden koruyucu, solunum yolları ve cilt sağlığı, veteriner hekimlikte antioksidan olarak kullanılmaktadır (Rai vd., 2022). Vitaminler, bağışıklık sisteminin iyileşmesine yardımcı olan ve vücudun düzgün çalışması için gerekli besinlerdir. Birçoğu vücudumuzdaki farklı süreçler için enzimlerin kontrolünde koenzim olarak rol oynar. Vitamin eksiklikleri, metabolizma bozuklukları ve enzim kapasitesinin aksamasına yol açabilmektedir. Doğumda, annenin sadece kendine yetebileceği kadar değil; fetüsün beslenme kapasitesi de göz önünde bulundurulmalıdır. Folik asit, A, D ve B vitaminleri gibi vitaminler sağlıklı doğum hamilelik ve fetüsün bağışıklık ve sağlığı için önemlidir (Lokhande vd., 2023). Vitamin A (VA) terimi, retinol, retinoidler ve karotenoidler dahil olmak üzere yağda çözünen vitaminlerin geniş bir grubu kapsamaktadır. VD’ye benzeyerek, VA bağırsak mikrobiyomunun bileşimini düzenleyebilir ve gastrointestinal bariyerin bütünlüğünün korunmasında yer alan proteinlerin sentezini doğrudan uyarır. VA eksikliği bulaşıcı hastalık yükü ile ilişkilendirilmektedir (Costagliola vd., 2021).

3.6. Probiyotikler ve Prebiyotikler

Probiyotik ve prebiyotikleri son zamanlarda dikkatleri üzerine çekerek araştırma alanı oluşturmaktadır ve bu durum nutrasötikler arasında yaygınlaşmaktadır. Probiyotiklere örnek olarak yoğurt, kefir, lahana turşusu, tempeh, kimchi vb. yer alır. Canlı mikroorganizmalar mikro ve nanoprobiyotikler şeklinde tüketildiğinde veya vücuda alındığında sağlık açısından fayda sağlamaktadır. Probiyotikler, ekonomik açıdan ve çiftlik hayvanlarının güvenliği sağlanması amacıyla antibiyotiklere alternatif olarak tercih edilmektedir. *Lactibacillus* ve *Bifidobacterium* gıda endüstrisinin tercih ettiği probiyotik mikroorganizmalardır. Probiyotiklerin gıda ürünlerine uygulaması, bu mikroorganizmaların birçoğunun tüketiminin öncesinde ya da sindirimi sırasında canlılıklarını kaybettikleri için uygulanması zor olan bir işlemdir. Yaşam için anlamına gelen Yunanca kökenli “probiyotik” kelimesi, 1954 yılında Ferdinand Vergin tarafından yazılan “Anti-und Probiotika” başlıklı makalede, antibiyotiklerin ve antibakteriyel ajanların bağırsak mikrobiyotasındaki etkileri ile “probiotika” olarak adlandırılmaktadır. İnsan beslenmesinde yeterli miktarda bulunduğu zaman sağlıklı üzerine olumlu etkilere sahiptir. “Yeterli miktarda alındığında konakçıya sağlık açısından çok fayda sağlayan, titizlikle seçilmiş mikroorganizmaların canlı türleri” belirtilen bu tanım uluslararası Probiyotikler ve Prebiyotikler Bilimsel Birliği tarafından devam ettirilmektedir (Ceylan vd., 2023).

Probiyotikler ve prebiyotikler ayrı ayrı ya da birlikte sinbiyotik veya öbiyotik olarak kullanılabilir (Tomasik & Tomasik, 2003). Probiyotikler ve prebiyotikler, gastrointestinal sistem yolu ile fizyolojik etkiler sağlayan bileşiklerdir. Probiyotikler yutulduğunda belirli patolojik durumların önlenmesinde ve tedavisinde yararlı etkiye sahip mikroorganizmalardır. Bu mikroorganizmalar, yerli anaerobik floranın sindirim sistemindeki potansiyel olarak patojenik (genellikle aerobik) floranın konsantrasyonunu sınırladığı kolonizasyon direnci olarak bilinmekte olan fenomen yoluyla biyolojik etkiler gösterdiği bilinmektedir. Ayrıca probiyotikler, enzim sağlama veya gastrointestinal sistemdeki enzim aktivitesini etkilemektedir. Prebiyotikler ise kolonda bir veya sınırlı sayıda bakterinin büyümesini ve aktivitesini seçici olarak uyararak konak sağlığını yararlı şekilde etkileyen sindirilmeyen gıda bileşenidir ve fruktooligosakkarit (FOS), buğday, soğan, muz, bal, sarımsak veya pırasa gibi gıdalarda doğal olarak bulunmaktadır. Kolonda FOS’un fermantasyonu, kolondaki bifidobakteri sayısındaki artış, kalsiyum emilimindeki artış, dışkı ağırlığındaki artış, gastrointestinal geçiş süresindeki kısalma ve kan lipid düzeylerinin düşmesi gibi çok sayıda fizyolojik etkiler sunmaktadır (Chow, 2002). Probiyotikler gıdalar ile belirli dozlarda alındığı zaman sağlığa faydalı mikroorganizmalardır. Çok sayıdaki çalışma, insan sağlığı, hastalık önleme ve

hastalık tedavisinde yarar sağladığını ortaya koymuştur. Laktik asit bakterileri (LAB), probiyotik mikroorganizmaların çoğunluğunu oluşturmaktadır. *Lactobacillus* spp., *Pediococcus* spp., *Enterococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Leuconostoc* spp., ve *Pediococcus* spp. probiyotik özellik gösteren bakterilerdendir (Ceylan vd., 2023). Bir çalışmada, *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* bakterileri elektrosipin yöntemiyle nanoenkapsülüne olarak yoğurt starter kültürü olarak kullanılmıştır (Demirci vd., 2024).

4. Sonuç

Bu makalede biyotrasötiklerin insan vücudundaki etkileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda, biyotrasötiklerin insan sağlığına faydalı olduğu öne sürülerek kanıtlanmış, mekanizma ve etkileri geliştirilerek yeni özelliklerin ortaya çıkarılması için çalışmalara devam edildiği bilinmektedir. Biyotrasötikler, vitaminler, mineraller, yağ asitleri, karotenoidler, probiyotik ve Prebiyotik vb. şekilde sınıflandırılıp insan vücudunda; antioksidan, anti-kanser, anti-inflamatuvar, anti-bakteriyel vb. etkiler göstererek insan sağlığını daha üst seviyeye çıkarmayı, güçlendirip canlılık katmayı hedeflemektedir. İnsan sağlığını fazlasıyla olumlu yönlerden etkilerken, olumsuz tarafı da gözden kaçırılmaz. Biyotrasötikler bitki kaynaklı olması dolayısı ile sağlıklı görünse de fazla alımının vücutta toksik etki yarattığı bilinmektedir. Biyotrasötikler ve gıdalar arasında ince bir çizgi bulunmaktadır. Yani biyotrasötikler, gıdaların hap, tablet veya kapsüle edilmesi sonucu oluşarak farmasötik grubundan da ayrılmaktadır. Sonuç olarak biyotrasötikler, farmasötik kullanımı azaltmak ve toplum sağlığını korumak için muazzam bir buluştur. Zamanla biyotrasötik kavramı geliştiği için artık farmasötik yerine biyotrasötikler kullanılarak tedaviler oluşturulmaya başlanmıştır bu da farmasötiklerin toksik ya da maddi-manevi açıdan insanlar üzerindeki etkilerini azaltmaya yardımcı olabileceği sonucuna varmıştır. Bunlara örnek verilecek olursa; N-asetilsistein, E vitamini, omega-3 ve omega-6, magnezyum en iyi örnekler arasında olup muazzam etkileri ile insanları iyileştirmektedir. Fakat doğru şekilde kullanıldığında insan vücudu üzerinde sağlık açısından olumlu etkiler yaratabilir, ancak etkinlikleri ve biyotrasötiklerin güvenlikleri kişisel özelliklere ve kullanım biçimlerine bağlı olarak değişebileceğinden, uzman önerisi doğrultusunda kullanımları önemlidir.

Kaynaklar

1. **Ahmad, N., Ansari, M. Y., & Haqqi, T. M. (2020).** Role of iNOS in osteoarthritis: Pathological and therapeutic aspects. *Journal of Cellular Physiology*, 235(10), 6366–6376. <https://doi.org/10.1002/JCP.29607>
2. **Andrew, R., & Izzo, A. A. (2017).** Principles of pharmacological research of nutraceuticals. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1177. <https://doi.org/10.1111/BPH.13779>
3. **Anon.** Retrieved December 12, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/364957451_Phytochemical_and_Antibacterial_Studies_of_Ensete_gilletii_EAJ_De_Wildman_Stem_Extract_and_Fractions
4. **Aronson, J. K. (2017).** Defining “nutraceuticals”: neither nutritious nor pharmaceutical. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 83(1), 8–19. <https://doi.org/10.1111/BCP.12935>
5. **Başaran, A. A. (2008).** Nutrasötikler. *Türkiye Klinikleri Tıp Bilimleri Dergisi*, 28(6), 146–149. <https://www.turkiyeklinikleri.com/article/tr-nutrasotikler-52498.html>
6. **Bernal, J., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2011a).** Advanced analysis of nutraceuticals. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 55(4), 758–774. <https://doi.org/10.1016/J.JPBA.2010.11.033>
7. **Bernal vd. (2011).** *Advanced analysis of nutraceuticals*. 55(4), 758–774.
8. **Bikle, D. D. (2012).** Vitamin D and the skin: Physiology and pathophysiology. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 13(1), 3–19. <https://doi.org/10.1007/S11154-011-9194-0/FIGURES/6>
9. **Buckley, M. S., Goff, A. D., & Knapp, W. E. (2004).** Fish Oil Interaction with Warfarin. *Annals of Pharmacotherapy*, 38(1), 50–53. https://doi.org/10.1345/APH.1D007/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1345_APH.1D007-FIG1.JPEG
10. **Canat. (2022).** *Türkiye ve dünyada gıda takviyeleri*. 77.
11. **Cassidy, P. B., Liu, T., Florell, S. R., Honegger, M., Leachman, S. A., Boucher, K. M., & Grossman, D. (2017).** A phase II randomized placebo-controlled trial of oral n-acetylcysteine for protection of

- melanocytic nevi against uv-induced oxidative stress in vivo. *Cancer Prevention Research*, 10(1), 36–44. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-16-0162/339656/P/A-PHASE-II-RANDOMIZED-PLACEBO-CONTROLLED-TRIAL-OF>
12. **Ceylan vd. (2023).** *GIDA NANOBIYOTEKNOLOJİSİ* (Zafer CEYLAN, Raciye MERAL, & Birol SAYGI, Eds.).
 13. **Chow, J. M. (2002).** Probiotics and prebiotics: A brief overview. *Journal of Renal Nutrition*, 12(2), 76–86. <https://doi.org/10.1053/JREN.2002.31759>
 14. **Coşkun ve Turhan. (2009).** *istanbul’da vitamin kullanım alışkanlıkları ve bu alışkanlıkları etkileyen faktörler üzerine bir araştırma.* 26–27.
 15. **Costagliola, G., Nuzzi, G., Spada, E., Comberati, P., Verduci, E., & Peroni, D. G. (2021).** Nutraceuticals in Viral Infections: An Overview of the Immunomodulating Properties. *Nutrients* 2021, Vol. 13, Page 2410, 13(7), 2410. <https://doi.org/10.3390/NU13072410>
 16. **Dąbrowska, A. K., Spano, F., Derler, S., Adlhart, C., Spencer, N. D., & Rossi, R. M. (2018).** The relationship between skin function, barrier properties, and body-dependent factors. *Skin Research and Technology*, 24(2), 165–174. <https://doi.org/10.1111/SRT.12424>
 17. **D’Adamo, S., Cetrullo, S., Panichi, V., Mariani, E., Flamigni, F., & Borzi, R. M. (2020).** Nutraceutical Activity in Osteoarthritis Biology: A Focus on the Nutrigenomic Role. *Cells* 2020, Vol. 9, Page 1232, 9(5), 1232. <https://doi.org/10.3390/CELLS9051232>
 18. **Darvishi, F., Ariana, M., Marella, E. R., & Borodina, I. (2018).** Advances in synthetic biology of oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* for producing non-native chemicals. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(14), 5925–5938. <https://doi.org/10.1007/S00253-018-9099-X>
 19. **Das. (2011, February 26).** *Role of nutraceuticals in human health.*
 20. **Das, L., Bhaumik, E., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2012).** Role of nutraceuticals in human health. *Journal of Food Science and Technology*, 49(2), 173–183. <https://doi.org/10.1007/S13197-011-0269-4/TABLES/3>
 21. **De Baaij, J. H. F., Hoenderop, J. G. J., & Bindels, R. J. M. (2015).** Magnesium in man: Implications for health and disease. *Physiological Reviews*, 95(1), 1–46. <https://doi.org/10.1152/PHYSREV.00012.2014/ASSET/IMAGES/LARGE/Z9J0041427110008.JPEG>
 22. **De Paepe, B. (2023).** What Nutraceuticals Can Do for Duchenne Muscular Dystrophy: Lessons Learned from Amino Acid Supplementation in Mouse Models. *Biomedicines* 2023, Vol. 11, Page 2033, 11(7), 2033. <https://doi.org/10.3390/BIOMEDICINES11072033>
 23. **Deguchi, A. (2015).** Curcumin targets in inflammation and cancer. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets*, 15(2), 88–96. <https://doi.org/10.2174/1871530315666150316120458>
 24. **D’Eliseo, D., & Velotti, F. (2016).** Omega-3 Fatty Acids and Cancer Cell Cytotoxicity: Implications for Multi-Targeted Cancer Therapy. *Journal of Clinical Medicine* 2016, Vol. 5, Page 15, 5(2), 15. <https://doi.org/10.3390/JCM5020015>
 25. **Demirci, A., Ocak, E., & Ceylan, Z. (2024).** A new nanobiotechnology material for yogurt samples: Characterized nanotubes-Streptococcus thermophilus and Lactobacillus delbrueckii bulgaricus. *Food Bioscience*, 59, 104178. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2024.104178>
 26. **Dhama, K., Saminathan, M., Jacob, S. S., Singh, M., Karthik, K., Amarpal, Tiwari, R., Sunkara, L. T., Malik, Y. S., & Singh, R. K. (2015).** Effect of immunomodulation and immunomodulatory agents on health with some bioactive principles, modes of action and potent biomedical applications. *International Journal of Pharmacology*, 11(4), 253–290. <https://doi.org/10.3923/IJP.2015.253.290>
 27. **Dietzen, D. J. (2018).** Amino Acids, Peptides, and Proteins. *Principles and Applications of Molecular Diagnostics*, 345–380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816061-9.00013-8>
 28. **Draeos, Z. D. (2010).** Nutrition and enhancing youthful-appearing skin. *Clinics in Dermatology*, 28(4), 400–408. <https://doi.org/10.1016/J.CLINDERMATOL.2010.03.019>
 29. **Dudak. (2011).** *Role of nutraceuticals in human health.*
 30. **Evans, J. A., & Johnson, E. J. (2010).** The Role of Phytonutrients in Skin Health. *Nutrients*, 2(8), 903. <https://doi.org/10.3390/NU2080903>

31. **Failla vd. (2008).** *in vitro* screening of relative bioaccessibility of carotenoids from foods. 200–203.
32. **Fairfield ve Fletcher. (2002).** Fairfield KM, Flecher RH. Vitamins for chronic disease prevention in adults: scientific review.
33. **Ferreri, C., Sansone, A., Chatgialiloglu, C., Ferreri, R., Amézaga, J., Burgos, M. C., Arranz, S., & Tueros, I. (2022).** Critical Review on Fatty Acid-Based Food and Nutraceuticals as Supporting Therapy in Cancer. *International Journal of Molecular Sciences* 2022, Vol. 23, Page 6030, 23(11), 6030. <https://doi.org/10.3390/IJMS23116030>
34. **Fiedor, J., & Burda, K. (2014).** Potential Role of Carotenoids as Antioxidants in Human Health and Disease. *Nutrients*, 6(2), 466. <https://doi.org/10.3390/NU6020466>
35. **Geist, F. C., Bateman, J. A., & Hayden, F. G. (1987).** In vitro activity of zinc salts against human rhinoviruses. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 31(4), 622–624. <https://doi.org/10.1128/AAC.31.4.622>
36. **Goulart, C. de C., Costa, F. G. P., da Silva, J. H. V., de Souza, J. G., Rodrigues, V. P., & de Oliveira, C. F. S. (2011).** Requirements of digestible methionine + cystine for broiler chickens at 1 to 42 days of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(4), 797–803. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000400013>
37. **Gross, B. W., Gillio, M., Rinehart, C. D., Lynch, C. A., & Rogers, F. B. (2017).** Omega-3 fatty acid supplementation and warfarin: A lethal combination in traumatic brain injury. *Journal of Trauma Nursing*, 24(1), 15–18. <https://doi.org/10.1097/JTN.0000000000000256>
38. **Guillin, O. M., Vindry, C., Ohlmann, T., & Chavatte, L. (2019).** Selenium, Selenoproteins and Viral Infection. *Nutrients*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/NU11092101>
39. **Gupta, M., Aggarwal, R., Raina, N., & Khan, A. (2020).** Vitamin-Loaded Nanocarriers as Nutraceuticals in Healthcare Applications. *Nanomedicine for Bioactives: Healthcare Applications*, 451–470. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1664-1_18
40. **Halsted, C. H. (2003).** Dietary supplements and functional foods: 2 sides of a coin? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(4 Suppl). <https://doi.org/10.1093/AJCN/77.4.1001S>
41. **Hamrouni- Sellami. (2011).** Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity of Sage(*salvia officinalis*.) Plnats as Affected by Different Drying Methos.
42. **Helal, N. A., Eassa, H. A., Amer, A. M., Eltokhy, M. A., Edafiogho, I., & Nounou, M. I. (2019).** Nutraceuticals' Novel Formulations: The Good, the Bad, the Unknown and Patents Involved. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation*, 13(2), 105–156. <https://doi.org/10.2174/1872211313666190503112040>
43. **Honda, M. (2020).** Nutraceutical and Pharmaceutical Applications of Carotenoids. *Pigments from Microalgae Handbook*, 449–469. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50971-2_18
44. **Inoue, M., & Craker, L. E. (2014).** Medicinal and aromatic plants-uses and functions. *Horticulture: Plants for People and Places*, 2, 645–669. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8581-5_3
45. **Johnson, E. J. (2014).** Role of lutein and zeaxanthin in visual and cognitive function throughout the lifespan. *Nutrition Reviews*, 72(9), 605–612. <https://doi.org/10.1111/NURE.12133>
46. **Kang, S., Chung, J. H., Lee, J. H., Fisher, G. J., Wan, Y. S., Duell, E. A., & Voorhees, J. J. (2003).** Topical N-acetyl cysteine and genistein prevent ultraviolet-light-induced signaling that leads to photoaging in human skin in vivo. *The Journal of Investigative Dermatology*, 120(5), 835–841. <https://doi.org/10.1046/J.1523-1747.2003.12122.X>
47. **Kendall, A. C., Kiezel-Tsuginova, M., Brownbridge, L. C., Harwood, J. L., & Nicolaou, A. (2017).** Lipid functions in skin: Differential effects of n-3 polyunsaturated fatty acids on cutaneous ceramides, in a human skin organ culture model. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1859(9Part B), 1679. <https://doi.org/10.1016/J.BBAMEM.2017.03.016>
48. **Kidd, M. T., & Kerr, B. J. (1996).** L-Threonine for poultry: A review. *Journal of Applied Poultry Research*, 5(4), 358–367. <https://doi.org/10.1093/JAPR/5.4.358>

49. Kour, J., Chopra, H., Bukhari, S., Sharma, R., Bansal, R., Hans, M., & Saxena, D. C. (2022). Nutraceutical-A deep and profound concept. *Nutraceuticals and Health Care*, 1–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89779-2.00021-1>
50. Lai-Cheong, J. E., & McGrath, J. A. (2017). Structure and function of skin, hair and nails. *Medicine*, 45(6), 347–351. <https://doi.org/10.1016/J.MPMED.2017.03.004>
51. Leaf, A., Kang, J. X., & Xiao, Y.-F. (2008). Fish Oil Fatty Acids as Cardiovascular Drugs. *Current Vascular Pharmacology*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.2174/157016108783331286>
52. Lee, K. H., Park, J. H., Kim, T. Y., Kim, H. U., & Lee, S. Y. (2007). Systems metabolic engineering of *Escherichia coli* for L-threonine production. *Molecular Systems Biology*, 3. https://doi.org/10.1038/MSB4100196/SUPPL_FILE/MSB4100196-SUP-0001.DOC
53. Li, Y. O., González, V. P. D., & Diosady, L. L. (2023). Microencapsulation of vitamins, minerals, and nutraceuticals for food applications. *Microencapsulation in the Food Industry: A Practical Implementation Guide*, 507–528. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821683-5.00027-3>
54. Lien, K. A., Sauer, W. C., & Fenton, M. (1997). Mucin output in ileal digesta of pigs fed a protein-free diet. *Zeitschrift Fur Ernährungswissenschaft*, 36(2), 182–190. <https://doi.org/10.1007/BF01611398>
55. Lokhande, T. N., Varma, K. S., Gharate, S. M., Mahajan, S. K., & Surana, K. R. (2023). Vitamins as Nutraceuticals for Pregnancy. *Vitamins as Nutraceuticals: Recent Advances and Applications*, 185–204. <https://doi.org/10.1002/9781394175543.CH8>
56. Lopez, M. J., & Mohiuddin, S. S. (2024). Biochemistry, Essential Amino Acids. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557845/>
57. Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... ح. فاطمی (2017). DETERMINATION OF THERAPEUTIC POTENTIAL OF MENTHA LONGIFOLIA SSP LONGIFOLIA. *FRESENIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN*, 26(7), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
58. Mamedov, N. A., & Craker, L. E. (2012). Man and medicinal plants: A short review. *Acta Horticulturae*, 964, 181–190. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2012.964.22>
59. Mazzanti, G., & Di Giacomo, S. (2016). Curcumin and Resveratrol in the Management of Cognitive Disorders: What is the Clinical Evidence? *Molecules* 2016, Vol. 21, Page 1243, 21(9), 1243. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES21091243>
60. McCusker, M. M., & Grant-Kels, J. M. (2010). Healing fats of the skin: the structural and immunologic roles of the omega-6 and omega-3 fatty acids. *Clinics in Dermatology*, 28(4), 440–451. <https://doi.org/10.1016/J.CLINDERMATOL.2010.03.020>
61. Meléndez-Martínez, A. J., Böhm, V., Borge, G. I. A., Cano, M. P., Fikselová, M., Gruskiene, R., Lavelli, V., Loizzo, M. R., Mandić, A. I., Brahm, P. M., Mišan, A., Pintea, A. M., Sereikaitė, J., Vargas-Murga, L., Vlasisavljević, S. S., Vulić, J. J., & O'Brien, N. M. (2021). Carotenoids: Considerations for Their Use in Functional Foods, Nutraceuticals, Nutricosmetics, Supplements, Botanicals, and Novel Foods in the Context of Sustainability, Circular Economy, and Climate Change. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(Volume 12, 2021), 433–460. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-FOOD-062220-013218/1>
62. Meléndez-Martínez, A. J., Stinco, C. M., & Mapelli-Brahm, P. (2019). Skin Carotenoids in Public Health and Nutricosmetics: The Emerging Roles and Applications of the UV Radiation-Absorbing Colourless Carotenoids Phytoene and Phytofluene. *Nutrients* 2019, Vol. 11, Page 1093, 11(5), 1093. <https://doi.org/10.3390/NU11051093>
63. Meriçli. (2017). *nutrasötiklerin insan sağlığına etkileri*. 1.
64. (Meriçli, 2017) (PDF) *Nutrasötikler: tip ve sağlıkta yeni dönem*. (n.d.). Retrieved December 22, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/259170781_Nutraceuticals_new_era_of_medicine_and_health

65. Mohammed, F. S., Pehlivan, M., & Sevindik, M. (2020). Antioxidant, Antibacterial and Antifungal Activities of Different Extracts of *Silybum marianum* Collected from Duhok (Iraq). *International Journal of Secondary Metabolite*, 6(4), 317–322. <https://doi.org/10.21448/IJSM.581500>
66. Murugesan, R., & Orsat, V. (2012). Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients-A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 3–14. <https://doi.org/10.1007/S11947-011-0638-Z/TABLES/3>
67. Murugesan vd. (2019). *World journal of pharmaceutical reserch*. 8, 1357.
68. Murugesan vd. (2019). *World journal of pharmaceutical reserch*. 8.
69. Northrop-Clewes, C. A., & Thurnham, D. I. (2012). The Discovery and Characterization of Riboflavin. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 61(3), 224–230. <https://doi.org/10.1159/000343111>
70. Nutrition and health-- vitamins and vitamin. (2003). *JSchrijver ve H van Den Breg*.
71. Obled, C. (2003). Amino acid requirements in inflammatory states. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(3), 365–373. <https://doi.org/10.4141/A03-021>
72. Oppedisano, F., Bulotta, R. M., Maiuolo, J., Gliozzi, M., Musolino, V., Carresi, C., Ileri, S., Serra, M., Muscoli, C., Gratteri, S., Palma, E., & Mollace, V. (2021). The Role of Nutraceuticals in Osteoarthritis Prevention and Treatment: Focus on n-3 PUFAs. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021(1), 4878562. <https://doi.org/10.1155/2021/4878562>
73. Panozzo, A., Lemmens, L., Van Loey, A., Manzocco, L., Nicoli, M. C., & Hendrickx, M. (2013). Microstructure and bioaccessibility of different carotenoid species as affected by high pressure homogenisation: A case study on differently coloured tomatoes. *Food Chemistry*, 141(4), 4094–4100. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.06.099>
74. Pérez-Sánchez, A., Barraón-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2018). Nutraceuticals for Skin Care: A Comprehensive Review of Human Clinical Studies. *Nutrients* 2018, Vol. 10, Page 403, 10(4), 403. <https://doi.org/10.3390/NU10040403>
75. Poojary, M. M., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Dias, D. A., & Shpigelman, A. (2017). Stability and extraction of bioactive sulfur compounds from *Allium* genus processed by traditional and innovative technologies. *Journal of Food Composition and Analysis*, 61, 28–39. <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2017.04.007>
76. Puri, V., Nagpal, M., Singh, I., Singh, M., Dhingra, G. A., Huanbutta, K., Dheer, D., Sharma, A., & Sangnim, T. (2022). A Comprehensive Review on Nutraceuticals: Therapy Support and Formulation Challenges. *Nutrients* 2022, Vol. 14, Page 4637, 14(21), 4637. <https://doi.org/10.3390/NU14214637>
77. Putnik, P., Gabrić, D., Roohinejad, S., Barba, F. J., Granato, D., Lorenzo, J. M., & Kovacević, D. B. (2019). Bioavailability and food production of organosulfur compounds from edible *Allium* species. *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*, 293–308. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814174-8.00010-X>
78. Putnik, P., Gabrić, D., Roohinejad, S., Barba, F. J., Granato, D., Mallikarjunan, K., Lorenzo, J. M., & Bursać Kovačević, D. (2019). An overview of organosulfur compounds from *Allium* spp.: From processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Food Chemistry*, 276, 680–691. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.10.068>
79. Rai, R. H., Goyal, R. K., Singh, R. B., Handjiev, S., Singh, J., Darlenska, T. H., & Smail, M. M. A. (2022). Vitamins and minerals as nutraceuticals in cardiovascular diseases and other chronic diseases. *Functional Foods and Nutraceuticals in Metabolic and Non-Communicable Diseases*, 651–670. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819815-5.00037-9>
80. Ranard, K. M., Jeon, S., Mohn, E. S., Griffiths, J. C., Johnson, E. J., & Erdman, J. W. (2017). Dietary guidance for lutein: consideration for intake recommendations is scientifically supported. *European Journal of Nutrition*, 56(3), 37–42. <https://doi.org/10.1007/S00394-017-1580-2/METRICS>
81. Riedijk, M. A., Van Beek, R. H. T., Voortman, G., De Bie, H. M. A., Dassel, A. C. M., & Van Goudoever, J. B. (2007). Cysteine: a conditionally essential amino acid in low-birth-weight preterm infants? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 86(4), 1120–1125. <https://doi.org/10.1093/AJCN/86.4.1120>

82. Sachdeva, R. B. (2020). *Current Prospects of Nutraceuticals: A Review*. 21(10), 884–896.
83. Santhakumaran. (2020). *Nutraceutical applications of twenty-five species of rapid-growing green-microalgae as indicated by their antibacterial, antioxidant and mineral content*. 47.
84. Sekhar, R. V., Patel, S. G., Guthikonda, A. P., Reid, M., Balasubramanyam, A., Taffet, G. E., & Jahoor, F. (2011). Deficient synthesis of glutathione underlies oxidative stress in aging and can be corrected by dietary cysteine and glycine supplementation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94(3), 847–853. <https://doi.org/10.3945/AJCN.110.003483>
85. Shao, A. (2017). Global market entry regulations for nutraceuticals, functional foods, dietary/food/health supplements. *Developing New Functional Food and Nutraceutical Products*, 279–290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802780-6.00015-8>
86. Sierra, S., Lara-Villoslada, F., Olivares, M., Jiménez, J., Boza, J., & Xaus, J. (2004). [IL-10 expression is involved in the regulation of the immune response by omega 3 fatty acids]. *Nutricion Hospitalaria*, 19(6), 376–382. <https://europepmc.org/article/med/15672655>
87. Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E., & Trombetta, D. (2017). Proanthocyanidins and hydrolysable tannins: occurrence, dietary intake and pharmacological effects. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1244–1262. <https://doi.org/10.1111/BPH.13630>
88. Sreedhar, R., Arumugam, S., Thandavarayan, R. A., Karuppagounder, V., & Watanabe, K. (2016). Curcumin as a therapeutic agent in the chemoprevention of inflammatory bowel disease. *Drug Discovery Today*, 21(5), 843–849. <https://doi.org/10.1016/J.DRUDIS.2016.03.007>
89. Srivastava, A., Gupta, R. C., Doss, R. B., & Lall, R. (2022). Trace Minerals, Vitamins and Nutraceuticals in Prevention and Treatment of COVID-19. *Journal of Dietary Supplements*, 19(3), 395–429. <https://doi.org/10.1080/19390211.2021.1890662>
90. Srivastava vd. (2021). *Trace Minerals, Vitamins and Nutraceuticals in Prevention and Treatment of COVID-19*. 395–429.
91. Stipanuk, M. H. (2004). Sulfur amino acid metabolism: Pathways for production and removal of homocysteine and cysteine. *Annual Review of Nutrition*, 24, 539–577. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.NUTR.24.012003.132418>
92. Tapal, A., & Tikku, P. K. (2019). Nutritional and Nutraceutical Improvement by Enzymatic Modification of Food Proteins. *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future Prospects*, 471–481. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00027-X>
93. Tekin vd. (2022). *Fitoterapi uygulama kitabı*.
94. Télessy, I. G. (2019). Nutraceuticals. *The Role of Functional Food Security in Global Health*, 409–421. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813148-0.00024-4>
95. Tomasik, P. J., & Tomasik, P. (2003). Probiotics and Prebiotics. *Cereal Chemistry*, 80(2), 113–117. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.2.113>
96. Wang, P., Sun, M., Ren, J., Djuric, Z., Fisher, G. J., Wang, X., & Li, Y. (2017). Gas chromatography-mass spectrometry analysis of effects of dietary fish oil on total fatty acid composition in mouse skin. *Scientific Reports*, 7, 42641. <https://doi.org/10.1038/SREP42641>
97. Xu, Y. Q., Guo, Y. W., Shi, B. L., Yan, S. M., & Guo, X. Y. (2018). Dietary arginine supplementation enhances the growth performance and immune status of broiler chickens. *Livestock Science*, 209, 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2018.01.001>

ARı ÜRÜNLERİNİN NANOTEKNOLOJİ VE NANOBIYOTEKNOLOJİ ALANLARINDA KULLANIM OLANAKLARI

Abdullah Demirci^{1*}

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı, 04000, Ağrı,
ademirci@agri.edu.tr, Orcid: 0000 0002 0422 5632

Özet

Antik çağlardan beri arı ürünleri; bal, propolis, polen, arı zehri, arı ekmeği (perga) ve arı sütü bir dizi hastalığa karşı terapötik etkilere sahip doğal ilaçlar olarak kabul edilmişlerdir. Bu ürünlerin içeriği; arıların genetik farklılıkları başta olmak üzere, arıların yaşadığı ekosistem biyoçeşitliliğine bağlı olarak topladığı nektar, polen, bal özü gibi kaynaklara bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Güncel çalışmalar arı ürünlerinin; protein, karbonhidrat, vitamin, mineral, antioksidan, enzim, organik asit, reçine ve çeşitli fenolik madde miktarları bakımından oldukça zengin olduğunu ortaya koymuştur. Bilinçli tüketicilerin daha sağlıklı ve kaliteli gıda tüketme isteği yeni çalışmaların yapılmasını gerekli kılmıştır. Son zamanlarda gelişen nanoteknoloji; sağlık, endüstri, ilaç, kozmetik ve gıda gibi alanlarda nano malzemelerin mükemmel özellikleriyle yeni bir çağ açmıştır. Arı ürünlerinin; prebiyotik, probiyotik, antimikrobiyal, anti kanser, antioksidan ve antienflamatuar gibi birçok özelliği nanoteknoloji ve nanobiyoteknoloji ile buluşarak faydalanabilirliği artmıştır.

Anahtar kelimeler: Arı Ürünleri, Nanoteknoloji, Nanobiyoteknoloji, Propolis, Arı sütü

POSSIBILITIES OF USE OF BEE PRODUCTS IN NANOTECHNOLOGY AND NANOBIOTECHNOLOGY

Absract

Since ancient times, bee products; honey, propolis, pollen, bee venom, bee bread (perga) and royal jelly have been recognized as natural medicines with therapeutic effects against a range of diseases. The content of these products may vary depending on the sources such as nectar, pollen and honey extract that bees collect depending on the biodiversity of the ecosystem where they live, especially the genetic differences of bees. Recent studies have shown that bee products are rich in protein, carbohydrates, vitamins, minerals, antioxidants, enzymes, organic acids, resins and various phenolic substances. The desire of conscious consumers to consume healthier and higher quality food has made it necessary to carry out new studies. Recently developing nanotechnology has opened a new era with the excellent properties of nano materials in areas such as health, industry, medicine, cosmetics and food. Many properties of bee products such as prebiotic, probiotic, antimicrobial, anti-cancer, antioxidant and anti-inflammatory have been utilized with nanotechnology and nanobiotechnology.

Keywords: Bee Products, Nanotechnology, Nanobiotechnology, Propolis, Royal Jelly

1. Giriş

Arı, zar kanatlılar takımına ait *Apoidea* familyasını oluşturan tüm böcek türlerine verilen isim olarak tanımlanmaktadır. Dünya üzerinde yaklaşık olarak 20 binden fazla arı türü olduğu bilinmektedir (Michener, 1974; URL-1, 2024). Dünya ekosisteminde önemli bir yere sahip olan bal arıları (*Apis mellifera*), ürettikleri ürünler ile

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Abdullah Demirci,

¹Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Merkezi Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı,
04000, Ağrı, Türkiye
ademirci@agri.edu.tr

Geliş (Received) : 25.12.2024

Kabul (Accepted) : 29.12.2024

Basım (Published) : 31.12.2024

insan sağlığına faydalarıyla daha fazla dikkat çekmektedir. Ortalama ömürleri 30-60 gün arasında değişen arılar hem neslini devam ettirmek hem de bulunduğu ortam biyoçeşitliliğinden yararlanarak farklı ürünler (bal, propolis, arı sütü, arı poleni, arı ekmeği, arı zehri ve balmumu vb.) üretmektedir (Sorucu, 2019).

Bal: Arılar tarafından üretilen ve değerli bir besin ürünü olarak tanımlanmaktadır. Balların fizikokimyasal özelliğine arının genetiği yanında arılığın bulunduğu coğrafyanın bitki örtüsü, mevsim şartları gibi özellikler de etkilemektedir. Bazı bölgelerin balları yörenin ismi ile ticarileştirilmiştir. Örn; Anzer balı, Kars Kafkas, Ordu kestane balı, Muğla çam balı, Hakkâri yaban çiçeği balı vb. (Polat, 2007)

Propolis: Bitkileri hem soğuktan hem de mikroorganizma saldırısından koruyan bitkinin salgıladığı reçineli bileşiklerin, bal arıları tarafından toplandıktan sonra transforme edilmesinden dolayı güçlü ve yapışkan bir özellik kazanmış su geçirmez, antimikrobiyal ve ısı yalıtan kompleks yapıli maddeler olarak bilinmektedir. Arılar da propolisi kendi yaşam alanları olan kovanlarını dış faktörlere (sıcak soğuk, parazit saldırısı ve antimikrobiyal kontaminasyon) karşı korumak için kullanmaktadır (Acun & Gül, 2020).

Polen: Bitkilerin erkek üreme hücresi olan polen, 21 günlük işçi bal arıları tarafından, arı kolonisinin arı sütü üretimi ve larvaların gelişmesinde protein ihtiyacını karşılamak için toplanır. Polen, genç işçi arıların, yavruların ve yavru gıda bezlerinin gelişmesi için gerekli bir besin kaynağıdır. Arı poleni protein, mineral ve vitamin değeri yüksek bir arı ürünüdür. Polen olmadan yavru geliştirilmesi mümkün değildir. Polen elde edildiği kaynağa göre farklı renk ve şekillerde olabilmektedir (Korkmaz, 2015). Son zamanlarda arı poleni (AP), yaklaşık 250 farklı biyoaktif bileşen içeren faydalı bir gıda takviyesi ve katma değerli bir ürün olarak kabul edilmektedir. Mg, Ca, Mn, K ve fenolik bileşikler gibi çok sayıda faydalı element içerir. AP, güçlü antioksidan, anti-inflamatuvar, antimikrobiyal, antiviral, analjezik, immünostimülan, nöroprotektif, antikanser ve hepatoprotektif özelliklere sahiptir (Thakur & Nanda, 2020).

Arı Sütü: 5-15 günlük işçi arıların yutak üstü salgı bezlerinden salgıladıkları bir maddedir. Jel halinde akıcı kıvamda, kremi-beyaz renktedir. Tadı ekşi ve kokusu keskin fenolik yapıdadır. Yoğunluğu 1.1 g/cm³ olup kısmen suda çözünebilmektedir. Arı sütü; yaklaşık %66 su, %14.5 karbonhidrat, %4.5 lipid, %13 aminoasit, B grubu vitaminlerinin tümüne ek olarak A, D, C, E vitaminleri, biyolojik aktif maddeler, önemli bazı mineral maddeler ve bir miktar da tespit edilemeyen maddeler içerir. Ayrıca 10 temel amino asitten (esansiyel) sekizini de (metionin, lösin, lizin, valin, fenil-alanin, treonin, triptofan, izolösin) doğal hormon ve enzimleri içermektedir (Aslan & Bayraktar, 1996).

Arı Ekmeği (perga): İşçi arıların çiçeklerden topladığı polenleri çeşitli işlemler ile fermente ederek ürettiği bir arı ürünüdür. Arı ekmeği, polene göre daha zengin ve sindirilebilir besin maddelerine sahiptir. İçeriğinde; Proteinler, Amino asitler, Karbonhidratlar, Vitaminler (B kompleks, C, E, K ve A vitaminleri), Mineraller (potasyum, kalsiyum, demir, magnezyum, çinko vb.), Enzimler, Probiyotikler ve antioksidan bileşenler bulunmaktadır. İşçi arılar ve yavru arıların temel gıda maddesi olan bu ürün, arılar tarafından petek gözlerinde depolanmaktadır (Değirmenci & Yıldız, 2021; Ciric vd., 2022).

Arılar bu temel ürünlerin dışında; arı zehri, balmumu ve apilarnil gibi önemli biyoaktif bileşenler de üretmektedir. Üretilen arı ürünlerinin içerikleri; arının türüne, bulunulan ortamın biyoçeşitliliğine ve mevsim gibi çevre şartlarına göre farklılıklar göstermektedir (Mutlu vd., 2017). Hem besin içeriğinin zenginliği hem de biyoaktivitesinin yüksek ürünler olmasından dolayı konu ile ilgili çok fazla akademik çalışma bulunmaktadır ve çalışılmaya devam edilmektedir.

Son zamanlarda teknolojinin de gelişmesiyle yeni ve fonksiyonel ürünler geliştirilmektedir. Bilinçli tüketiciler hem sağlıklı hem de fonksiyonel kaliteli gıda tüketmek istemektedir. Bu özellikleri sağlayabilen gıda formülasyonuna ulaşmak için ise nanoteknoloji ve nanobiyoteknoloji gibi çalışma alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Arı ürünlerinin, sahip oldukları doğal yapıları ve biyoaktif bileşenleri sayesinde nanoteknoloji alanında ilgi çekici potansiyellere sahip olabileceği düşünülmektedir.

2. Arı Ürünlerinden Nanoteknoloji ve Nanobiyoteknoloji Alanlarında Yararlanılması

Nanoteknoloji, maddenin atomik ve moleküler ölçekte (yaklaşık 1 ila 100 nanometre) manipüle edilerek yeni malzemeler, cihazlar ve sistemlerin yaratıldığı bir bilim ve mühendislik dalı olarak ifade edilmektedir. Nanoteknoloji ile üretilen nano malzemeler; elektronik, manyetik ve optoelektronik, biyomedikal, ilaç, kozmetik, enerji, katalitik ve malzeme uygulamalarının yanı sıra savunma, ulaşım, gıda güvenliği ve ekoloji gibi farklı birçok alanda kullanılmaktadır (Adlakha-Hutcheon vd., 2009; Hull vd.,2015).

Arı ürünleri geniş bir yelpazede; antibakteriyel, antiviral, antioksidan, antiinflamatuvar, immünomodülatör ve antitümör özelliklere sahip biyoaktif bileşikler nedeniyle geleneksel tıpta ve kozmetikte kullanılmaktadır (Lou vd., 2021). Arı ürünlerinden bal ve propolis elektroğrülerek yara bakımı uygulamaları için araştırılmıştır. Ballar arasında en çok test edilen manuka balı olmuş, bunu akasya balı, yonca balı ve çok çiçekli bal izlemiştir. Farklı derecelerdeki Manuka balı beş farklı konsantrasyonda elektroğirme ile elde edilen lifli malzemeler *E. coli* , *S. aureus* , *MRSA* , *MSSA* ve *P. aeruginosa* gibi bakterilerin çoğalmasını durdurmada etkili olmuştur (Mele, 2023).

Adhikari vd., (2022), bal ve betel yapraklarını doku mühendisliği için kitosan ve polikaprolakton ile elektroğrülerek nanomateryal oluşturmuşlardır. Yapılan çalışma sonucunda bal yüklü nanomateryallerin daha fazla hidrofilitate sergilediğini vurgulanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada Al-Hatamleh vd., (2022), bal ve propolisi aljinat bazlı nanomalzemelerle nanoenkapsüle ederek, yara iyileşmesi ve cilt doku mühendisliği için umut verici bulgulara yol açabileceğini ifade etmişlerdir.

Nanopartiküllerin (NP'ler) sentezi için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılır. Bu yöntemler pahalıdır ve uzun zaman alır. Bu nedenle, "yeşil nanoteknoloji" kavramı ortaya çıkmıştır. Nanopartiküllerin yeşil sentezi, birçok doğal kaynaktan nanopartiküllerin oluşumunu içerir. Nanopartikül sentezinde kullanılmak üzere birçok biyolojik kaynak mevcuttur (yumurta, bal, çeşitli bitkisel materyaller, vb.). Son zamanlarda, bal aracılı yeşil sentez araştırmada ilgi konusu haline gelmiştir. Bal aracılı yeşil sentez, metalik nanopartikülleri sentezlemek için kullanılan yeni bir yöntemdir. Balın bir dengeleyici ve indirgeyici madde olarak işlev görmesi, bu sentezi daha kullanışlı hale getirmiştir. Bu sentez ucuzdur ve sağlık uygulamalarında sağlığa zararlı toksik maddeler içermez. Bal aracılı yeşil sentez; tekrarlanabilir, biyouyumlu, hızlı, güvenli ve basit bir yöntem olup, çeşitli alanlarda çok sayıda değerli son ürün sağlayabildiği ifade edilmiştir (Keskin vd.,2022).

Balın altın nanopartiküllerinin (AuNP) sentezi için olası uygulamalarını ilk kez Philip analiz etmiştir (Philip, 2009). Balın AgNP'lerin yeşil sentezinde olası bir ajan olarak önerilmesine rağmen, 2010 yılında Philip, indirgeyici ve koruyucu maddeler olarak doğal Kerala balı vasıtasıyla oda koşullarında suda çok küçük gümüş nanopartikülleri üretmek için ilk basit ve çevre dostu yöntemi bildirmiştir. Sreelakshmi ve çalışma arkadaşları 2011 yılında oda sıcaklığında doğal bal kullanarak altın ve gümüş nanopartikül stabilizasyonu için tek adımlı bir yeşil yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu, antimikrobiyal aktivite de gösteren doğal bal kullanılarak gümüş ve altın nanopartikül sentezine ilişkin ilk rapor olarak bilinmektedir. Bu çalışmalar, balla yeşil metodoloji yoluyla Ag nanopartikülleri üretmenin, zararlı çözücü ve atıkların varlığından kaçınmanın mümkün olduğunu göstermektedir.

Propolisin, nanoteknoloji tabanlı dağıtım sistemlerine entegre edilmesini sağlayan özelliklere sahip olduğu ifade edilmiştir (Ramli vd., 2021). Propolis; fenolikler, flavonoidler, terpenoidler ve diğer fitokimyasallar gibi çeşitli terapötik özellikler (antimikrobiyal, anti-inflamatuvar, antioksidan ve antikanser aktiviteleri) gösteren biyoaktif bileşiklerden oluşmaktadır (İbrahim vd., 2018). Propolisin biyoaktif bileşikler, propolis bazlı dağıtım sistemleri olarak nanopartiküller, lipozomlar, misel veya nanofiberler gibi nanotaşıyıcılara kapsüllenebilir veya dahil edilebilmektedir (Mahmad vd., 2023).

Propolis, lipid nanopartikül şeklinde kapsülendirilerek lipit ilaç dağıtım sisteminde terapötik bir yaklaşım çalışılmıştır. Propolis özütlerinin lipozomlara kapsülendirilmesinin, onun çoklu biyolojik aktivitelerini arttırdığı ileri sürülmüştür (Mendez-Pfeiffer vd., 2021). Aytakin ve arkadaşları (2020), lipit matrisi olarak fosfolipon 90G (askorbil palmitat ile stabilize edilmiş ana fosfatidilkolin karışımı) kullanarak Türk propolisini etanol enjeksiyon yöntemi ile lipozomlara kapsülendirilmiş ve antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesini *in vitro* değerlendirmişlerdir. Kapsülendirilmiş propolis özütünün, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere ve *Candida albicans* ve *Candida krusei* gibi mantarlara karşı serbest propolise kıyasla daha iyi bir antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmalar propolis özütlerinin ve kimyasal bileşenlerinin terapötik ajanlar olarak olası uygulanmasına doğru atılmış bir adım olarak görülebilmektedir. Aynı zamanda propolisin nanoteknolojik olarak antimikrobiyal etkisi nanobiyoteknoloji alanını da içersine almaktadır.

Diğer bir arı ürünü olan Arı poleni (AP), değerli bir apiterapötik üründür ve eski çağlardan beri doğal tıp tarafından takdir edilen besleyici ve sağlıklı bir gıda olarak ifade edilmektedir. İnsanlığın refahı için farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Ek olarak, bal arısı ürünlerinin doğal bir çare ve besleyici işlevi olarak birçok amaç için hasat edilmesine ve kullanılmasına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Denisow & Denisow-Pietrzyk, 2016).

Arı polenindeki karmaşık ve doğal olarak var olan mikro yapılar, belirli özelliklere sahip nanomalzeme tasarımı için optimum bir şablon sunmaktadır. Arı poleninde bulunan doğal yapıların kullanımı yoluyla araştırmacılar, tıp, elektronik ve çevre iyileştirme dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde nanomalzeme uygulamaları geliştirmeyi amaçlamaktadır (Turunc vd., 2021).

Arı sütü (AS), fonksiyonel gıdada, kozmetikte ve birçok hastalığın tedavisinde yaygın olarak kullanılan arı ürünlerinden biridir. İşçi arıların mandibular ve hipofarenks bezlerinden gelen kremi asidik bir salgıdır (Ahmadvd., 2020). Ayrıca, arı larvalarına 1-3 gün ve kraliçeye yaşam süresi boyunca verilen tek gıda olarak kabul edilir ve gelişmiş kimyasal profili nedeniyle bal arısının fizyolojik işlevinin düzenlenmesine yardımcı olmaktadır (Salama vd., 2022). Arı sütü su (%60-70), toplam şeker (%10-16), ham protein (%12-15), lipitler (%3-6), vitaminler, serbest amino asitler, fenoller, flavonoidler ve tuzlar içermektedir (Ahmadvd., 2020; Guo vd., 2021). Arı sütünün biyolojik aktiviteleri in vitro ve in vivo olarak incelenmiş ve birçok klinik çalışmada da ele alınmıştır. AS'nin bağışıklık ve hafıza düzenlemesi, sindirim sistemi geliştirme, glikoz seviyesi düzenlemesi, obezitenin azaltılması ve anti-inflamatuar ve antikanser varlıklar üzerindeki etkileri kanıtlanmıştır. Ek olarak, AS, küresel, nanodisk ve kümelenmiş NP'lerin görüldüğü AgNP'lerin yeşil sentezinde yüksek yetenek göstermiştir. Ayrıca hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite göstermişlerdir (Gevorgyan vd., 2021).

Arı sütünün yüksek kalitede kullanımını iyileştirmek iyonik jelyasyon yöntemi kullanılarak kitosan kaplı nano maddeler oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda arı sütü başarılı bir şekilde nanokaplanarak kararlı yapı ve amorf şekil özellikleri sergilemiştir. Nanokaplı materyalde arı sütü oranı arttıkça antioksidan aktivite de artmıştır. Ayrıca ilginç bir şekilde, gram-pozitif bakteriler üzerindeki antibakteriyel aktivite, gram-negatif bakterilerden daha iyi göstermiştir. En önemlisi, nanokaplı arı sütü kontrol örneğine göre sindirim sisteminde daha iyi stabilite ve sindirilebilirlik sergilemiştir. Genel olarak, bu bulgular arı sütünün kitosanla nanokaplanabileceğini ve nanokaplı arı sütünün normal arı sütünden yüksek kaliteli kullanımının geliştirilmesi ve uygulanması için önemli olan iyi termal stabilite, antioksidan aktivite, antibakteriyel aktiviteler ve biyoyararlanım sergilediğini ortaya koymuştur (Tao vd., 2024).

Arı sütü kullanılarak yeşil sentez yoluyla üretilen Gümüş Nanopartikülleri, HeLa servikal kanser ve A549 akciğer kanseri hücre hatları üzerindeki etkilerini (VEGFa/PI3K/Akt/MMP-2 Yolunun Modülasyonu) azaltmak için denenmiştir. Araştırma bulgularında, VEGFa/PI3K/Akt/MMP-2 yolunu ve kanser hücrelerinde ROS/RNS modülasyonu hedeflenerek Arı sütü-AgNP'lerinin antikanser potansiyelinin olduğu ortaya konulmuştur (Kocharyan vd., 2024).

Bal arıları floradan nektar ve polen toplar ve bunları peteklerde depolar. Burada toplanan maddeler laktik asit bakterilerinin ve sindirim enzimlerinin etkisiyle fermantasyona uğrar ve Arı Ekmeği (AE) olarak bilinen bir karışım elde edilmektedir. Bu karışımın asidik pH değeri 3,5 ila 4,2 arasındadır. AE, hem larvalar hem de yetişkin arılar için besin sağlayarak kovandaki birincil protein kaynağı olarak hizmet eder. AE, çeşitli kimyasal bileşenlerin zengin bir kaynağıdır. Aldehitler, doymamış alifatik asitler, alkoller, ketonlar ve nitrillerle birlikte proteinler, amino asitler ve karbonhidratlar içerir. Ek olarak, karotenoidler, terpen türevleri, polifenoller ve flavonoidlerle doludur. C, B, K, P ve E vitaminleri ile furfural gibi vitaminlerin varlığı, besin profilini daha da artırır (Khalifa vd., 2020).

Çok sayıda çalışma, AE'nin antimikrobiyal, anti-inflamatuar, antioksidan ve antikanser özellikleri de dahil olmak üzere çeşitli biyolojik aktivitelerini vurgulamıştır. Önemli bir fenolik bileşik olan Rutin, AE'de bulunur ve yüksek içeriği ekmeğin tazeliğinin bir göstergesi olarak hizmet eder (Bayram vd., 2021). Son zamanlarda, AE'ye benzer, 20 ila 40 g/dalton arasında değişen önerilen bir alımla bir diyet takviyesi olarak popülerlik kazanmıştır. AE'nin bileşenleri yalnızca benzersiz biyolojik aktiviteler sergilemekle kalmaz, aynı zamanda potansiyel indirgeyici güçlere de sahiptir. Bu etkiler, NP'lerin çevre dostu sentezinde kullanılan doğal bir ürün olarak başarısına katkıda bulunacağı düşünülmektedir (Khalifa vd., 2024).

Arı ekmeği ekstraktlarının indirgeyici ve dengeleyici özellikleri sayesinde yeşil sentez yoluyla gümüş nanopartikülleri üretilmiştir. Üretilen AE-AgNP'ler; test edilen Gram-pozitif ve Gram-negatif bakteri suşları üzerinde iyi antibakteriyel aktivite göstermiştir. Test sonucunda; *S. aureus*, *B. cereus*, *E. faecalis*, *E. coli*, *P.*

aeruginosa, *S. enteritidis* ve maya *C. albicans* üzerinde sırasıyla inhibisyon çapları $7,67 \pm 0,59$ ile $22,21 \pm 1,06$ mm arasında değişirken, minimum inhibitör konsantrasyonu için elde edilen değerler $0,39$ ile $6,25$ $\mu\text{g/mL}$ arasında değişmiştir. İn vitro antiproliferatif aktivite kolon adenokarsinomu, ATCC HTB-37 hücre hattı üzerinde test edildi ve sonuçlar yeşil sentezlenen AE-AgNP'lerin $24,58$ ila $67,91$ $\mu\text{g/mL}$ arasında değişen bir IC50 ile doz bağımlı bir şekilde tümör hücresi canlılığında önemli bir azalmaya neden olduğunu ifade edilmiştir (Urcan vd., 2023).

3. Sonuç

Yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi arı ürünleri zengin bileşik kompozisyonundan dolayı birçok çalışma alanına girmiştir ve girmeye devam etmektedir. Nanoteknolojik çalışmalarda üretilen nano malzemelerin yüzey alan oranı artırıldığından elde edilen faydalanma da artmaktadır. Arı ürünlerinin; bal, propolis, polen, arı sütü e arı ekmeği nanoteknoloji alanında önemli bir potansiyele sahiptir bu ürünler; doğal, sürdürülebilir ve çok yönlü malzemelerdir. Yapılan çalışmalarda da görüldüğü gibi ilaç taşıma, yara iyileştirme, antibakteriyel uygulamalar, gıda ambalajları, fonksiyonel gıda üretimi ve kozmetik gibi alanlarda kullanılarak, insan sağlığına ve çevreye önemli katkılar sağlayabileceği ifade edilmiştir. Ancak, bu alandaki araştırmaların ve geliştirmelerin devam etmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Acun, S., & Gül, H. (2020). Fonksiyonel Bir Ürün Olan Propolisin Sağlık Üzerine Etkisi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 20(2), 189-208.
2. Adhikari, J., Ghosh, M., Das, P., Basak, P., & Saha, P. (2022). Polycaprolactone assisted electrospinning of honey/betel with chitosan for tissue engineering. *Materials Today: Proceedings*, 57, 307-315.
3. Adlakha-Hutcheon, G., Khaydarov, R., Korenstein, R., Varma, R., Vaseashta, A., Stamm, H., & Abdel-Mottaleb, M. (2009). Nanomaterials, nanotechnology: applications, consumer products, and benefits. In *Nanomaterials: risks and benefits* (pp. 195-207). Springer Netherlands.
4. Ahmad, S., Campos, M. G., Fratini, F., Altaye, S. Z., & Li, J. (2020). New insights into the biological and pharmaceutical properties of royal jelly. *International journal of molecular sciences*, 21(2), 382.
5. Al-Hatamleh, M. A., Alshaer, W., Hatmal, M. M. M., Lambuk, L., Ahmed, N., Mustafa, M. Z., ... & Mohamud, R. (2022). Applications of alginate-based nanomaterials in enhancing the therapeutic effects of bee products. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 9, 865833.
6. Aslan, A., & Bayraktar, A. (1996). Arı sütlerinin Kimyasal Bilesimi ve Beslenme Açısından önemi. II. *Gıda Mühendisliği Kongresi. Gaziantep. S.* 339-349.
7. Aytekin, A. A., Tuncay Tanrıverdi, S., Aydın Köse, F., Kart, D., Eroğlu, İ., & Özer, Ö. (2020). Propolis loaded liposomes: evaluation of antimicrobial and antioxidant activities. *Journal of liposome research*, 30(2), 107-116.
8. Bayram, N. E., Gerçek, Y. C., Çelik, S., Mayda, N., Kostić, A. Ž., Dramićanin, A. M., & Özkök, A. (2021). Phenolic and free amino acid profiles of bee bread and bee pollen with the same botanical origin—similarities and differences. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(3), 103004.
9. Ciric, J., Haneklaus, N., Rajić, S., Baltić, T., Lazić, I. B., & Đorđević, V. (2022). Chemical composition of bee bread (perga), a functional food: A review. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2, 100038.
10. Değirmenci, O., & Yıldız, O. (2021). Polenin Arı Ekmeğine Dönüşüm Süreci: Arı Ekmeği Mikrobiyolojisi. *Türkiye Klinikleri Yayınevi*, 86-89.
11. Denisow, B., & Denisow-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4303-4309.
12. Gevorgyan, S., Schubert, R., Yeranossyan, M., Gabrielyan, L., Trchounian, A., Lorenzen, K., & Trchounian, K. (2021). Antibacterial activity of royal jelly-mediated green synthesized silver nanoparticles. *AMB Express*, 11, 1-8.
13. Guo, J., Wang, Z., Chen, Y., Cao, J., Tian, W., Ma, B., & Dong, Y. (2021). Active components and biological functions of royal jelly. *Journal of Functional Foods*, 82, 104514.
14. URL-1, (2024) <https://www.usgs.gov/faqs/how-many-species-native-bees-are-united-states>
15. Hulla, J. E., Sahu, S. C., & Hayes, A. W. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*, 34(12), 1318-1321.
16. Keskin, M., Kaya, G., & Keskin, S. (2022). Nanotechnology in Honey: Future and Perspectives Honey as Nanoparticles. *Nanotechnology in Functional Foods*, 87-101.

17. Khalifa, S. A., Elashal, M., Kieliszek, M., Ghazala, N. E., Farag, M. A., Saeed, A., ... & El-Seedi, H. R. (2020). Recent insights into chemical and pharmacological studies of bee bread. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 300-316.
18. Khalifa, S. A., Shetaia, A. A., Eid, N., Abd El-Wahed, A. A., Abolibda, T. Z., El Omri, A., ... & El-Seedi, H. R. (2024). Green Innovation and Synthesis of Honeybee Products-Mediated Nanoparticles: Potential Approaches and Wide Applications. *Bioengineering*, 11(8), 829.
19. Kocharyan, M., Marutyan, S., Nadiryan, E., Ginovyan, M., Javrushyan, H., Marutyan, S., & Avtandilyan, N. (2024). Royal Jelly–Mediated Silver Nanoparticles Show Promising Anticancer Effect on HeLa and A549 Cells Through Modulation of the VEGFa/PI3K/Akt/MMP-2 Pathway. *Applied Organometallic Chemistry*, 38(12), e7726.
20. Korkmaz, A. (2015). *Anlaşılabilir Arıcılık* (Vol. 1). Ali Korkmaz.
21. Luo, X., Dong, Y., Gu, C., Zhang, X., & Ma, H. (2021). Processing technologies for bee products: an overview of recent developments and perspectives. *Front Nutr* 8: 727181.
22. Mahmad, A., Chua, L. S., Noh, T. U., Siew, C. K., & Seow, L. J. (2023). Harnessing the potential of Heterotrigena itama propolis: An overview of antimicrobial and antioxidant properties for nanotechnology–Based delivery systems. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 102946.
23. Mele, E. (2023). Electrospinning of honey and propolis for wound care. *Biotechnology and Bioengineering*, 120(5), 1229-1240.
24. Mendez-Pfeiffer, P., Juarez, J., Hernandez, J., Taboada, P., Virués, C., Valencia, D., & Velazquez, C. (2021). Nanocarriers as drug delivery systems for propolis: A therapeutic approach. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 65, 102762.
25. Michener, C. D. (1974). *The Social Behavior of the Bees: A Comparative Study* (Vol. 404). Harvard University Press (Belknap Press).
26. Mutlu, C., Erbaş, M., & Tontul, S. A. (2017). Bal ve diğer arı ürünlerinin bazı özellikleri ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 15(1), 75-83.
27. Philip, D. (2009). Honey mediated green synthesis of gold nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 73(4), 650-653.
28. Philip, D. (2010). Honey mediated green synthesis of silver nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 75(3), 1078-1081.
29. Polat, G. (2007). Farklı lokasyon ve orijinlere sahip balların reolojik, fizikokimyasal karakteristikleri ve mineral içeriklerinin belirlenmesi.
30. Ramli, N. A., Ali, N., Hamzah, S., & Yatim, N. I. (2021). Physicochemical characteristics of liposome encapsulation of stingless bees' propolis. *Heliyon*, 7(4).
31. Salama, S., Shou, Q., Abd El-Wahed, A. A., Elias, N., Xiao, J., Swillam, A., ... & El-Seedi, H. R. (2022). Royal jelly: Beneficial properties and synergistic effects with chemotherapeutic drugs with particular emphasis in anticancer strategies. *Nutrients*, 14(19), 4166.
32. Sorucu, A. (2019). ARI ÜRÜNLERİ ve APİTERAPİ. *Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni*, 10(1), 1-15.
33. Sreelakshmi, C. H., Datta, K. K. R., Yadav, J. S., & Reddy, B. V. (2011). Honey derivatized Au and Ag nanoparticles and evaluation of its antimicrobial activity. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 11(8), 6995-7000.
34. Tao, J., Bi, Y., Luo, S., Quan, S., He, J., Dong, P., ... & Fang, X. (2024). Chitosan nanoparticles loaded with royal jelly: Characterization, antioxidant, antibacterial activities and in vitro digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280, 136155.
35. Thakur, M., & Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82-106.
36. Turunc, E., Kahraman, O., & Binzet, R. (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using pollen extract: Characterization, assessment of their electrochemical and antioxidant activities. *Analytical Biochemistry*, 621, 114123.
37. Urcan, A. C., Criste, A. D., Szanto, K. I., Ştefan, R., Zahan, M., Muscă, A. S., ... & Olah, N. K. (2023). Antimicrobial and antiproliferative activity of green synthesized silver nanoparticles using bee bread extracts. *Pharmaceutics*, 15(7), 1797.