



BAROFD

BARTIN ORMAN FAKÜLTESİ DERGİSİ
BARTIN JOURNAL OF FACULTY OF FORESTRY

1997

Bartın Orman Fakültesi Dergisi
Journal of Bartın Faculty of Forestry
2023, 25 (2)



ISSN: 1302-0943

e-ISSN: 1308-5875

Period: Third times per year

Founded: 1999

Publisher: Bartın University

Bartın Orman Fakültesi Dergisi

Journal of Bartın Faculty of Forestry

Publisher and Editor's Office

Bartın University
Faculty of Forestry, 1st Floor, Agdaci District,
Center Campus, 74100 Bartın-Turkey. Tel:
+90(378) 223 5101, Fax: +90(378) 2235062
E-mail: bofdergi@bartin.edu.tr, bofdergi@gmail.com

Editor-in-Chief

Birsen DURKAYA, Prof.

Co-editor and Section Editors

Deniz Aydemir, Prof,
Rıfat Kurt, Assoc. Prof,
Sinan Kaptan, Assoc. Prof,
Eser Sozen, Assoc. Prof,
Erol İmren, Assoc. Prof,

Editorial Board

Abdullah İstek
Bartın University, Bartın, Turkey.
E-mail: aistek@bartin.edu.tr

Antonio Lanzotti
The University of Naples Federico II, Napoli,
Italy.
E-mail: antonio.lanzotti@unina.it

Aslı KORKUT
Namik Kemal University, Bartın, Turkey.
E-mail: aslikorkut@nku.edu.tr

Azize Toper Kaygın
Bartın University, Bartın, Turkey. E-mail:
atoperkaygin@bartin.edu.tr

Dalia Abbas
The University of Georgia, Athens, GA, USA.
E-mail: dabbas@uga.edu

Dick Sandberg
Lulea University of Technology, Skelleftea,
Sweden.
E-mail: dick.sandberg@ltu.se

Haldun Muderrisoglu
Duzce University, Duzce, Turkey.
E-mail: haldunm@duzce.edu.tr

Hideo Sakai
University of Tokyo, Tokyo, Japan.
E-mail: sakaih@fr.a.u-tokyo.ac.jp

Huseyin Sivrikaya
Bartın University, Bartın, Turkey.
E-mail: hsivrikaya@bartin.edu.tr

İsmet Dasdemir
Bartın University, Bartın, Turkey.
E-mail: idasdemir@bartin.edu.tr

Jerzy Smardzewski
Poznan University of Life Sciences, Poznan,
Poland.
E-mail: jsmardzewski@up.poznan.pl

Kevin Boston
Oregon State University, Corvallis, OR, USA.
E-mail: evin.boston@oregonstate.edu

Mehmet Sabaz
Bartın University, Bartın, Turkey.
E-mail: msabaz@bartin.edu.tr

Mir Mozaffar Fallahchai
Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
E-mail: Fallahchai@Liau.ac.ir

Nedim Saracoglu
Bartın University, Bartın, Turkey.
E-mail: nedimsaracoglu@bartin.edu.tr

Peter Niemz
ETH-Zurich, Zurich, Switzerland.
E-mail: niemzp@retired.ethz.ch

Bartın Orman Fakültesi Dergisi (BAROFD) is a peer-reviewed journal that publishes twice a year (June and December) on both hardcover and online to this day from 2001. Original research and invited review papers in English and Turkish are accepted for publication in the BAROFD. The Manuscripts submitted in the BAROFD are reviewed by the reviewers, and the review process is completed in 30 days. According to the reviewers' comments, the submitted manuscripts are accepted or declined. Manuscripts must be submitted on the understanding that they have not been published elsewhere and are not currently under consideration by another journal. BAROFD is open access, and the BAROFD 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 <https://dergipark.org.tr/pub/barofd>.

The BAROFD is abstracted and indexed by

Academic Journals Database	J-Gate: E-Journals Gateways
AGRIS-FAO: Food and Agriculture Organization	Journal Factor
AraştırMax	OAJI: Open Academic Journals Index
Bielefeld Academic Search Index	OCLC WorldCat
CAB Abstracts & Full Text	OpenAIRE
Clarivate Analytics	ResearchBIB: Academic Resource Index
Cosmos Impact Factor	ROAD: Directory of Open Access Scholarly Resources
CrossRef	Scientific Indexing Service
Directory of Open Access Journals	Scientific World Index
Directory of Research Journals Indexing	Scilit
DOI: Digital Object Identifier	Sobiad: Sosyal Bilimler Atf Dizini
Eurasian Scientific Journal Index	TROVE: National Library of Australia
Euro Forest Portal	International Institute of Organized Research (I2OR)
Google Scholar	ZDB
TR Dizin-ULAKBİM	ASOS Index
National Library OF Australia	Directory for Medical Articles (ScopeMed)
Journal TOCS	
Index Copernicus	

Both the University of Bartın and the Faculty of Forestry do not accept responsibility for the statements made or for the opinions expressed in the Journal of the Bartın Faculty of Forestry (BOFD). 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 BOFD and without reference.

Bartın Üniversitesi ve Orman Fakültesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi (BAROFD) 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, BAROFD'nin yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik vb. sistemlerle çoğaltılamaz.

CONTENTS

Research Articles

Pages

- Risk Düzeyleri Açısından Hibrit Entropi-ARAS Yöntemi ile Orman Ürünleri Sektörlerinin İmalat Sektörleri İçerisindeki Konumunun Belirlenmesi..... 197 - 210
Determining the Position of the Forest Products Sectors in the Manufacturing Sectors with the Hybrid Entropy-ARAS Method in terms of Risk Levels
Nadir ERSEN, İlker AKYÜZ, Kadri Cemil AKYÜZ
- Duvar Kağıdı ve Ahşap Kaplama ile Lamine Edilen Yonga Levhaların Üretimi ve Karakterizasyonu..... 211 - 222
Production and Characterization of Particle Board Laminated with Wall-paper and Wood Veneer
Orhan KELLEÇİ, Süheyla Esin KÖKSAL, Gül TEKİNGÜNDÜZ
- Dolomit ve Olivin ile Kıvılcık Odun Yonga Karışımından Üretilen Deneme Levhalarının Özellikleri. Bölüm 1. Fiziksel Özellikler..... 223 - 230
Properties of Experimental Panels Made from Mixture of Dolomite and Olivine with Calabrian pine Wood Particles. Part 1. Physical properties
Halil Turgut ŞAHİN, Ömer Ümit YALÇIN, Ali İhsan KAYA, Uğur ÖZKAN
- Farklı Biyo Polimerlerden Üretilen Köpük Malzemelerin Termal, Yoğunluk ve Biyolojik Bozunma Özelliklerinin İncelenmesi 231 - 239
Investigation of Thermal, Density, and Biological Degradation Properties of Foam Materials Produced From Different Biopolymers
Mehmet Emin ERGÜN, İsmail ÖZLÜSOYLU
- Sodyum Aljinat/Katyonik Karboksümetil Selüloz Biyofilmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu..... 240 - 246
Preparation and Characterization of Sodium Alginate/Quaternized Carboxymethyl Cellulose Biofilms
Ferhat ŞEN, Mustafa ZOR
- Kuarternize Karboksümetil Selüloz Esaslı Farklı Ahşap Kaplamaların Antimikrobiyal ve Yüzeysel Özelliklerinin İncelenmesi 247 - 254
Investigation of Antimicrobial and Surface Properties of Different Wood Coatings Based on Quaternized Carboxymethyl Cellulose
Mustafa ZOR, Ferhat ŞEN
- Havadaki Metal Kirliliğinin (Ca, Mg, Mn) Tespitinde Kent Merkezindeki Mavi Ladin (*Picea pungens*) Ağacının Yaprak ve Dallarının Biyomonitör Olarak Kullanılabilirliği 255 - 264
*The Usability of Blue Spruce (*Picea pungens*) Tree Leaves and Branches in the City Center as Biomonitoring for the Detection of Metal Pollution (Ca, Mg, Mn) in the Air*
Taher Abdulai Alttaher ATEYA, Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR, İsmail KOÇ
- Dikimle Yetiştirilmiş Kayın Meşcerelerinde, Aralamanın Mikrobiyal Biyokütle Karbon ve Toprak Solunumuna Etkileri 265 - 278
Effects of Thinning on Microbial Biomass Carbon and Soil Respiration in Beech Plantations
Abdurrahman SEMERCİOĞLU, Filiz YÜKSEK, Ömer KARA, Arzu AYGÜN, Arife SAYLAM, Selvinaz YILMAZ

Research Articles

Pages

Farklı Orman Ağaç Türleri Altındaki Toprak Özelliklerinin ve Besin Stoklarının Yükselti, Bakı ve Toprak Derinliğine Göre Değişimi..... 279 - 294
Variation in Soil Properties and Nutrient Stocks Under Different Forest Tree Species with Altitude, Aspect and Soil Depths

Temel SARIYILDIZ, Gamze SAVACI

Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kestane (*Castanea sativa* Mill.) Ağaçlandırmaları İçin Uygun Alanların Tespiti..... 295 - 307
*Determination of Suitable Areas for Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Afforestation with Analytic Hierarchy Process*

Hasan AKSOY

Giresun'da Yetiştirilen Fındık (*Corylus avellana* L.) Yapraklarında Toplam Antioksidan Aktivite, Fenolik Madde ve İndirgeyici Güç Miktarlarının Belirlenmesi..... 308 - 313
*The determination of total antioxidant activity, phenolic substance and reducing power amounts of hazelnut (*Corylus avellana* L.) leaves grown in Giresun*

Özlem AYDIN BERKTAŞ

Gıda Endüstrisinde Kâğıt Ambalajların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 314 - 319
Physical and Mechanical Properties of Paper Packaging in the Food Industry

Mehmet Onurhan GÜCÜŞ

Review Articles and Editorials

Reçine Üretimine Genel Bir Bakış ve Covid-19' un Üretim Üzerine Etkisi 320 - 339
An Overview of Resin Production and the Effect of Covid-19 on Production

Avni YILDIZBAŞ, Abdullah İSTEK, Cennet Burcu SIRADAĞ

Risk Düzeyleri Açısından Hibrit Entropi-ARAS Yöntemi ile Orman Ürünleri Sektörlerinin İmalat Sektörleri İçerisindeki Konumunun Belirlenmesi

Nadir Ersen^{1,*}, İlker Akyüz², Kadri Cemil Akyüz³

¹Ormanlık Bölümü, Artvin Meslek Yüksekokulu, Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye

^{2,3} Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 26.10.2022

Kabul: 15.05.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Bu çalışmada, Sosyal Güvenlik Kurum'unda (SGK) yıllık olarak yayınlanan iş kazası verileri ve bu veriler yardımıyla hesaplanan değerler ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak ülkemizdeki imalat alanında faaliyet gösteren 18 imalat sektörün risk düzeyleri değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, risk düzeyi bakımından orman ürünleri sektörlerinin imalat sektörlerine göre konumu belirlenmiş ve orman ürünleri sektörleri de kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda iş kazası ile alakalı dokuz kriter ele alınmıştır. Kriterlerin ağırlıkları (önem düzeyleri) Entropi yöntemi ve sektörlerin risk düzeylerine göre sıralanması ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Entropi yöntemi ile en önemli kriter olarak iş kazası sonucu meydana gelen ölüm sayısı çıkmıştır. ARAS yöntemi ile sektörlerin sıralanmasında en riskli sektör fabrikasyon metal ürünleri (makine ve teçhizat hariç) imalatı çıkmıştır. Orman ürünleri sektörlerinin (ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı, kağıt ve kağıt ürünleri imalatı, mobilya imalatı) risk seviyeleri ise orta düzeyde çıkmıştır. Orman ürünleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında en fazla riske sahip mobilya imalatı çıkmıştır. Önerilen Entropi tabanlı ARAS'ın imalat sektörlerinin risk seviyelerinin makul bir doğrulukla derecelendirilmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler – İmalat, Entropi, ARAS, Orman ürünleri

Determining the Position of the Forest Products Sectors in the Manufacturing Sectors with the Hybrid Entropy-ARAS Method in terms of Risk Levels

¹Department of Forestry, Artvin Vocational School, Artvin Çoruh University, Artvin, Turkey

^{2,3} Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

Article History

Received: 26.10.2022


Accepted: 15.05.2023


Published: 15.08.2023


Research Article

Abstract – In this study, the risk levels of 18 manufacturing sectors operating in the field of manufacturing in our country were tried to be evaluated by using the occupational accident data published annually in the Social Security Institution (SGK), the values calculated with the help of these data, and multi-criteria decision making (MCDM) methods. Moreover, in terms of risk level, the position of forest products sectors according to manufacturing sectors was determined. The forest products sectors were compared within themselves. In this context, nine criteria related to work accident were discussed. The weights (importance levels) of the criteria were made using the Entropy method and the ranking of the sectors according to the risk levels was made using the ARAS (Additive Ratio Assessment) method. With the entropy method, the most important criterion was the number of deaths that occurred as a result of work accidents. With the ARAS method, the most risky sector was the manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment. The risk levels of the forest products sectors (manufacture of wood and of products of wood and cork, manufacture of paper and paper products, manufacture of furniture) were moderate. When forest products are compared within themselves, the manufacture of furniture had the highest risk. The proposed Entropy based ARAS can be used to rank the risk levels of manufacturing sectors with reasonable accuracy.

Keywords – Manufacturing, Entropy, ARAS, Forest products

¹  nadirersen20@artvin.edu.tr

²  iakyuz@ktu.edu.tr

³  akuyuz@ktu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), çalışanların iş sürecinde karşılaştıkları potansiyel tehlikelerin belirlenmesi ve analizine yönelik sistematik ve disiplinler arası bir faaliyettir. Bu kavram işçi sağlığının korunması ve geliştirilmesi de dahil olmak üzere işle ilgili yaralanmaların ve hastalıkların önlenmesi ile ilgilenmek için kullanılmaktadır (Liu vd., 2021).

19. yüzyıldaki sanayileşme, uzun çalışma süreleri nedeniyle çalışanların çeşitli zararlı etkenlere, kazalara ve aşırı yorgunluğa maruz kalmasına neden olmuştur. Her ne kadar teknolojik gelişmeler yaşansa da çalışanlar stresli koşullar altında makinelerde çalıştığı için makineler daha tehlikeli hal almaktadır. Bunların sonucunda meslek hastalıkları ve iş kazaları meydana gelmektedir (Adamopoulos ve Syrou, 2022). Ayrıca bu mesleki tehlikeler, günümüzde organizasyonlarda giderek artan sayıda maddi kayıpların yanı sıra maddi olmayan zararlara da neden olmaktadır. Böylece, giderek daha fazla örgüt İSG yönetiminin önemini anlamakta ve mesleki tehlikeleri kontrol etmek ve çalışma koşullarını ve işçilerin sağlığını iyileştiren bir sistem kurmak için ellerinden gelenin en iyisini yapmaktadır (Liu vd., 2021).

Risk değerlendirmesi ise iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarındandır ve işyerinde veya işyerinden kaynaklanan tehlike risklerini değerlendirmeyi ve iş kazaları ve hastalıkları ile ilgili kayıpları en aza indirmeyi amaçlayan en kritik adımlardan biridir (Oliveira vd., 2018). Son zamanlarda iş kazaları ve meslek hastalıklarının artması sonucunda risk değerlendirmesi çalışmaları daha fazla önemli hale gelmiştir. 2019 yılında Avrupa Birliği ülkelerinde (AB-28) 3 milyonun üzerinde ölümcül olmayan ve ölümlü sonuçlanan 3408 iş kaza meydana gelmiş ve bir önceki yıla göre 76 ölüm artmıştır (Eurostat, 2019). Türkiye’de 2021 yılında 500 binin üzerinde iş kazası ve iş kazası sonucunda 1382 kişi ölmüştür (SGK, 2021). İmalat sektörü içerisinde yer alan birçok sektör resmi gazetede yayınlanan iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin işyeri tehlike sınıfları tebliğinde “Tehlikeli” ya da “Çok Tehlikeli” sınıflarında yer almaktadır (Resmi Gazete, 2017).

Sektörlerin risk düzeyleri belirlemek için risk oluşturan faktörleri ve risk değerlendirmesinde kullanılan verileri tek tek incelemek yerine birden fazla faktörü/veriyi aynı anda değerlendirmek gerekir. Bu süreç, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri ile mümkün olabilir. ÇKKV teknikleri, faktörleri değerlendirerek alternatifler arasından seçim yapan ve sınıflandıran tekniklerdir (Azadfallah, 2017). Literatürde kullanılan çeşitli ÇKKV teknikleri (Entropi, AHP, CIRITIC, TOPSIS, ARAS, COPRAS, Gri İlişkisel Analiz, vb.) bulunmaktadır. Bu çalışmada, entropi ve ARAS (katkı oranı değerlendirme) yöntemlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan iki aşamalı hibrit ÇKKV tekniği kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme tekniklerinde kriterlerin ağırlıkları büyük önem taşımaktadır. Entropi yönteminde, gözlem değerlerine dayalı olarak her bir kriterin ağırlığı hesaplanmaktadır. Kriterin düşük entropi değeri, kriterin önemli olduğunu ve ağırlık değerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Chen, 2020). ARAS, enerji (Firouzi vd., 2021), personel seçimi (Gotwald vd., 2022), malzeme seçimi (Goswami ve Behera, 2021), kuruluş yeri seçimi (Heidary Dahooie vd., 2022) gibi çeşitli alanlarda alternatifleri sıralamak amacıyla kullanılmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleri ile karşılaştırıldığında ARAS’da çalışmaya konu olan alternatiflerin fayda fonksiyonu değerleri, araştırmacı tarafından eklenen optimal alternatife ait fayda fonksiyonu değeri ile karşılaştırılmaktadır (Yıldırım, 2015).

Çok kriterli karar verme yöntemleri ile örgütlerin/sektörlerin risk değerlenmesine ilişkin çalışmalar bulunmaktadır. Şişman (2017) otomobil fabrikasına yardımcı sanayi konumunda olan bir işletmede amortisör montajındaki risk faktörleri AHP ile belirlemiş ve bulanık VIKOR yöntemi ile de hata türleri sıralamıştır. Ayrım ve Can (2017) 14 farklı sektöre ait risk düzeyini etkileyen kriterlerin nicel değerleri kullanılarak CIRITIC teknik ile risk düzeylerine göre sektörleri sıralamaya çalışmıştır. Can ve Kargı (2019) 17 farklı sektörün İSG risk seviyelerini etkileyen iş kazası geçiren kişi sayısı, meslek hastalığına yakalanan kişi sayısı, toplam geçici iş göremezlik süresi, meslek hastalığı sonucu gelir bağlanan sigortalı sayısı, iş kazası sonrası gelir bağlanan sigortalı sayısı ve iş kazası sonrası ölen sigortalı sayısı kriterlerinden faydalanarak CIRITIC yöntem ile kriterleri önemlilik düzeylerini ve EDAS yöntemi kullanarak da en yüksek ve en düşük risk düzeyine sahip sektörleri belirlemiştir. Akın vd. (2020) Analitik Hiyerarşi Sürecinden faydalanarak tersaneler için yeni

bir risk analizi yöntemi oluşturmuştur. Korkusuz vd. (2020) AHP tabanlı Gri İlişkisel Analiz ve Promethee tekniklerini kullanarak hastahanelerin İSG performanslarını analiz etmiştir. Liu vd. (2021) küresel bulanık ortam altında mesleki tehlike riskini değerlendirmek ve sıralamak için TODIM ve PROMETHEE tekniklerini entegre ederek yeni bir iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme çerçevesi geliştirmiştir. Ak vd. (2022) Bayesian Best-Worst Method (Bayesian BWM) ve VISeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) adlı iki önemli çok kriterli karar yöntemini kullanan bütünsel bir meslek risk değerlendirmesi sunmuştur. Elmas Atay ve Kuzu Yıldırım (2022) iş kazaları ve meslek hastalıklarını temsil eden 2020 yılına ait veriler ve CIRITIC tabanlı Gri İlişkisel Analiz tekniği yardımıyla ülkemizdeki sektörlerin risk sıralamasını gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada, SGK veri tabanından elde edilen iş kazası verileri kullanarak ve bu veriler yardımıyla yapılan hesaplamalar ile imalat sektörlerinin risk düzeylerinin karşılaştırılması yapılarak orman ürünleri sektörlerinin konumu belirlenmiştir Bunun için çok kriterli karar verme yöntemlerinden Entropi ve ARAS yöntemlerinden yararlanılmıştır. . Kriter olarak iş kazası ile ilgili dokuz istatistik değer alınmıştır. Aynı zamanda, Entropi tabanlı ARAS yönteminin farklı karar verme yöntemler ile de karşılaştırması yapılarak doğruluğu ve güvenilirliği kanıtlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Alternatiflerin ve Kriterlerin Belirlenmesi

Alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesinde Türkiye'nin en sağlıklı, güvenilir ve periyodik bilgilerinin oluşturulduğu SGK verilerinden yararlanılmıştır (SGK, 2021). Çalışmanın alternatiflerini imalat sanayindeki 18 sektör oluşturmakta ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Çalışmanın kriterlerini iş kazası sayısı (C-1), sürekli iş göremezlik sayısı (C-2), ölüm sayısı (C-3), toplam geçici iş göremezlik (gün) (C-4), sürekli iş görmezlik dereceleri (C-5), iş kazası sonucu toplam gün kaybı (C-6), standardize iş kazası oranı (C-7), iş kazası sıklık hızı (C-8), iş kazası ağırlık hızı (C-9) oluşturmaktadır. 2015 ile 2021 arasındaki verilerin ortalaması alınarak karar matrisi oluşturulmuştur. Kriterlerden standardize iş kazası, iş kazası sıklık hızı ve iş kazası ağırlık hızı SGK tarafından yayınlanan veriler kullanılarak hesaplanmıştır.

Standardize iş kazası oranı (SİKO) iş kazalarının değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir ölçüttür ve aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Karadağ, 2010).

$$\text{SİKO (\%)} = (\text{Yılda faaliyet kolundaki iş kazası sayısı} \times 100) / \text{Beklenen iş kazası sayısı}$$

$$\text{Beklenen iş kazası sayısı} = \text{Genel iş kazası sayısı} \times \text{İş kolundaki zorunlu sigortalı sayısı}$$

$$\text{Genel iş kazası hızı} = \text{Kaydedilen toplam iş kazası sayısı} / \text{Toplam sigortalı sayısı}$$

İş kazası sıklık hızı iş kazaları ile ilgili araştırmalarda en fazla tercih edilen ölçüttür. Bu ölçüt tam gün çalışan her 100 kişi arasında kaç kaza olduğunu göstermektedir (Karadağ, 2010).

$$\text{İş kazası sıklık hızı: } (\text{İş kazası sayısı} \times 225.000) / (\text{Toplam prim ödeme gün sayısı} \times 8)$$

İş kazası sıklık hızının hesaplanmasında yer alan toplam prim ödeme gün sayısının hesaplanmasında ise çalışan başına düşen ortalama prim tahakkuk eden gün sayısı bulunarak bu değer her alt sektör grubunda çalışan sigortalı sayısı ile çarpılmıştır (Karadağ, 2010).

İş kazası ağırlık hızı ise belirlenen dönem içinde kazalar nedeni ile kaybedilen iş günü değerlendirmesi için kullanılmaktadır. Bu değer aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır (Karadağ, 2010).

$$\text{İş kazası ağırlık hızı} = (\text{İş kazası sonucu toplam gün kaybı} \times 8 \times 100) / (\text{Toplam prim ödeme gün sayısı} \times 8)$$

$$\text{İş kazası sonucu toplam gün kaybı} = (\text{Geçici iş göremezlik süreleri}) + (\text{sürekli iş görmezlik dereceleri toplamı} \times 75) + (\text{ölüm sayısı} \times 7500)$$

Ayrıca, sürekli iş görmezlik derece toplamları her sektör için bilinmediğinden hesaplanması gerekmektedir. Sürekli iş görmezlik dereceleri incelenen yıldaki tüm sektörlerdeki iş görmezlik sayısı toplamının yine o yılki sürekli iş görmezlik derecesi toplamına oranlanması ile elde edilmiştir (Karadağ, 2010).

Tablo 1

Çalışmada kullanılan imalat sektörleri (alternatifler)

Kod	Sektörler
A-1	Gıda ürünlerinin imalatı
A-2	Tekstil ürünlerinin imalatı
A-3	Giyim eşyalarının imalatı
A-4	Deri ve ilgili ürünlerin imalatı
A-5	Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı
A-6	Kağıt ve kağıt ürünlerinin imalatı
A-7	Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı
A-8	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı
A-9	Temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı
A-10	Kauçuk ve plastik ürünleri imalatı
A-11	Diğer metalik olmayan ürünlerin imalatı
A-12	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)
A-13	Elektrikli teçhizat imalatı
A-14	Sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
A-15	Motorlu kara taşıtı imalatı
A-16	Diğer ulaşım araçlarının imalatı
A-17	Mobilya imalatı
A-18	Diğer imalatlar

2.2. Entropi Yöntemi

Bu çalışmada, iş kazası istatistiklerine göre imalat sektörlerinin risk seviyelerini sıralamak için hibrit bir Entropi-ARAS tekniği kullanılmıştır. Hibrit Entropi-ARAS yaklaşımının mimarisi Şekil 1'de sunulmuştur. Süreç, entropi kullanılarak öznitelik ağırlığının ve ARAS yöntemi kullanılarak en iyi alternatiflerin belirlenmesi ile ilgilidir.

Ağırlık hesaplamasında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan entropi, Shannon ve Weaver (1948) tarafından önerilmiş ve olasılık teorisi kullanılarak formüle edilmiştir. Entropi yönteminin adımları aşağıda listelenmiştir (Woo Lee vd., 2012; Chen vd., 2015);

Adım 1: Karar matrisini oluşturma

Karar matrisi, alternatifler ve değerlendirme kriterlerinden oluşmaktadır.

Adım 2: Karar matrisinin normalleştirilmesi

Veriler formül 2.2.1 kullanılarak normalizasyona tabi tutulmuştur. Formüldeki a_{ij} fayda değeridir ve p_{ij} normalleştirilmiş değerdir.

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (2.2.1)$$

Adım 3: Entropi değerinin hesaplanması

Entropi değeri (e_j) formül 2.2.2'e göre hesaplanmıştır. e_j değeri 0 ile 1 arasında bir değer alır. k değeri, toplam alternatif sayısının ($k = 1 / \ln(m)$) doğal logaritmasının tersidir. Formüldeki p_{ij} normalleştirilmiş değerdir, e_j entropi değeridir ve k entropi katsayısıdır.

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (2.2.2)$$

Adım 4: Ağırlık değerinin hesaplanması

Ağırlık değeri (w_j) formül 2.2.3 ile hesaplanmıştır. Formüldeki w_j ağırlık değeridir.

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (2.2.3)$$

2.3. ARAS Yöntemi

ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi, Zavadskas ve Turskis (2010) tarafından geliştirilmiş olup, her bir alternatifin toplam endeks değerini optimal alternatifin genel endeks değeriyle karşılaştıran çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. ARAS yöntemi ile elde edilen değer ne kadar büyükse, o alternatif optimal kabul edilen alternatife o kadar benzer ve sonuç olarak sıralamadaki yeri daha yüksektir (Meidelfi vd., 2022; Karadağ Ak vd., 2022). ARAS yöntemini kullanarak sıralama sürecindeki adımlar aşağıdaki gibidir (Liu ve Xu, 2021; Meidelfi vd., 2022):

Birinci adım: Karar matrisinin oluşturulması

Aras yönteminde başlangıç karar matrisinde her bir kritere ait optimal değerlerden oluşan bir satırda yer almaktadır. Optimal değerler formül 2.3.1 ve 2.3.2 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$X = \begin{bmatrix} x_{01} & x_{0j} & x_{0n} \\ x_{i1} & x_{ij} & x_{in} \\ x_{m1} & x_{mj} & x_{mn} \end{bmatrix}; \quad i=0,1,\dots,m \quad j=0,1,\dots,n$$

Kriter fayda (daha yüksek-daha iyi) özelliği gösteriyorsa aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$x_{0j} = \max x_{ij} \quad (2.3.1)$$

Kriter maliyet (daha düşük-daha kötü) özelliği gösteriyorsa aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$x_{0j} = \min x_{ij} \quad (2.3.2)$$

İkinci adım: Karar matrisinin tüm kriterler için normalleştirilmesi

Kriterlerin normalize edilmesinde, kriter fayda (maksimum) özelliği gösteriyorsa aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (2.3.3)$$

Kriter maliyet (maksimum) özelliği gösteriyorsa aşağıdaki formüller kullanılmaktadır:

$$X_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} \quad (2.3.4a)$$

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (2.3.4b)$$

Üçüncü adım: Normalize edilmiş karar matrisin ağırlıklandırılması

Bu aşamada normalize edilmiş veriler ile belirlenmiş olan kriterlerin önem ağırlıkları çarpılmaktadır.

$$D = [d_{ij}] = r_{ij} * w_j \quad (2.3.5)$$

Dördüncü adım: Optimizasyon fonksiyonunun değerinin belirlenmesi (S_i)

Optimallik fonksiyonunun değerlerini belirlemek için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$S_i = \sum_i^n = 1 d_{ij} : (i = 1,2, \dots m: j = 1,2, \dots n) \quad (2.3.6)$$

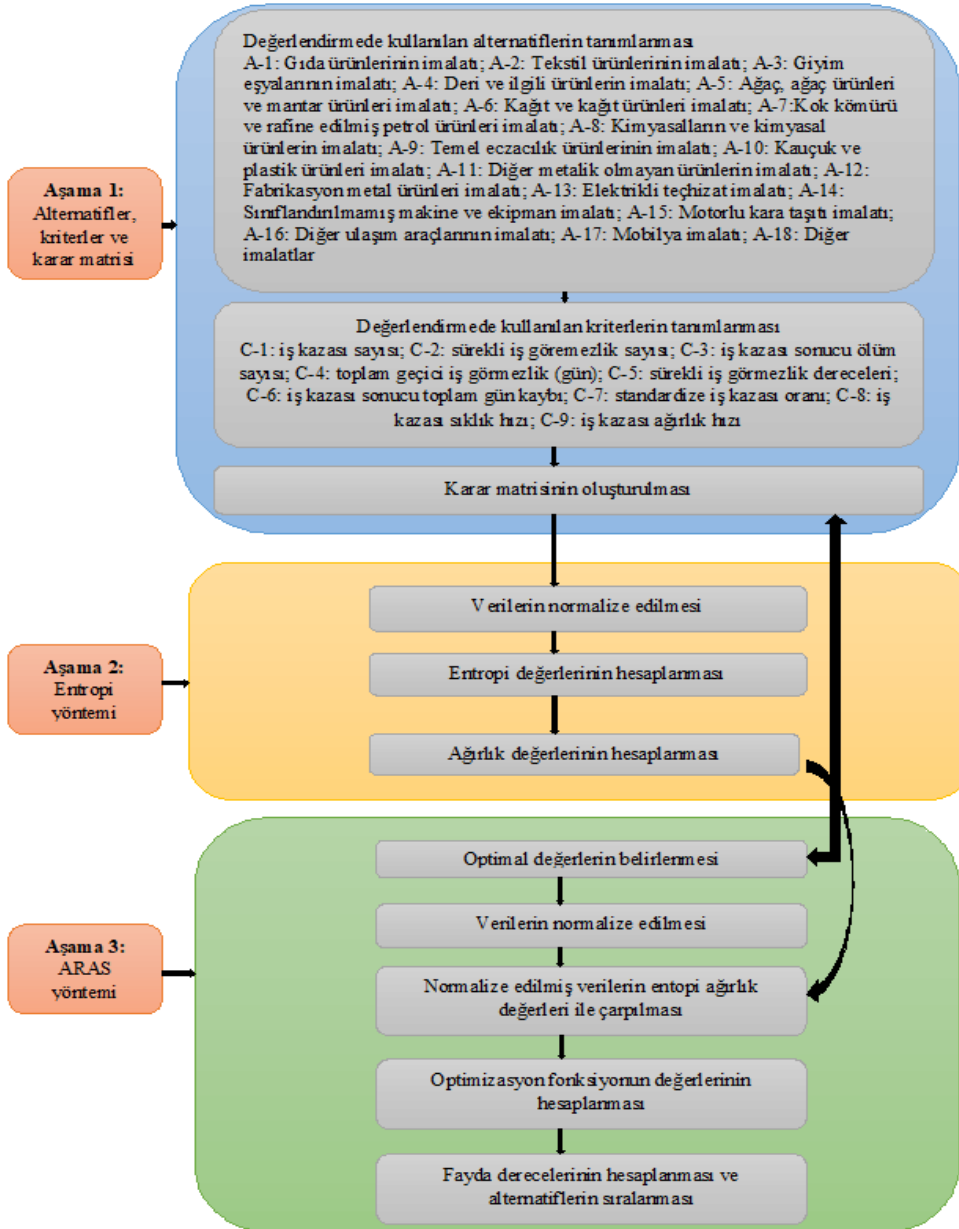
S_i , i alternatifinin optimallik fonksiyonunun değeridir. S_i optimizasyon fonksiyonunun değeri ne kadar büyük olursa, alternatif o kadar etkilidir.

Beşinci adım: En yüksek sıralamalı alternatifin belirlenmesi

Alternatiflerin sıralamasını yapmak için alternatiflere ait K_i (fayda dereceleri) değerleri hesaplanmaktadır. K_i değerlerinin hesaplanması için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (2.3.7)$$

Burada, " K_i " alternatif sıralama seviyesinin değerini, " S_i " i alternatifi için optimum değerini, " S_0 " optimal alternatif için optimum değerini ifade etmektedir.



Şekil 1. Hibris entropi-ARAS yaklaşımının mimarisi

3. Bulgular

En fazla riskli imalat sektörünü belirlemek için, değerlendirilen iş kazası istatistik sonuçları, birleşik entropi-ARAS metodolojisi kullanılarak analiz edilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü gibi karar matrisi 18 alternatif ve 9 kriterden oluşmaktadır.

Tablo 2

Karar matrisi

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
A-1	20268	130	30	165854	6467	399543	148.42	3.78	0.27
A-2	18581	112	21	171553	5268	335310	142.2	3.66	0.24
A-3	5391	21	9	32768	988	99721	33.32	0.84	0.06
A-4	828	8	2	9606	401	26256	43.52	1.12	0.13
A-5	3312	55	7	53270	2793	109895	176.8	4.41	0.52
A-6	3266	29	5	43990	1297	83632	191.73	4.71	0.44
A-7	180	5	1	2075	101	8686	69.28	1.75	0.31
A-8	3453	28	8	34856	1368	95906	133.52	3.4	0.34
A-9	814	2	1	6038	83	11567	102.17	2.6	0.14
A-10	12086	100	13	138066	4594	244137	194.27	4.86	0.35
A-11	11211	138	44	157920	6636	496095	217.06	5.21	0.7
A-12	23801	231	34	277255	11442	546344	215.85	5.33	0.44
A-13	8261	40	8	72786	1892	135797	185.6	4.66	0.28
A-14	9193	60	12	95867	2896	191460	189.2	4.77	0.36
A-15	11311	53	6	102693	2676	153832	195.28	4.79	0.23
A-16	5256	25	4	36112	1205	64783	252.99	7.02	0.32
A-17	6200	86	9	75902	4375	153034	132.66	3.26	0.29
A-18	1138	6	1	10661	278	20776	58.13	1.5	0.1

Alternatifleri sıralamak için öncelikle kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Kriterlerin ağırlık değerleri entropi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi için karar matrisi oluşturulduktan sonra veriler formül 2.2.1 yardımıyla normalize edilmiştir. Normalize edilmiş verileri gösteren normalizasyon karar matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

Normalize edilmiş veriler

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
A-1	0.140	0.115	0.140	0.112	0.118	0.126	0.055	0.056	0.049
A-2	0.129	0.099	0.098	0.115	0.096	0.106	0.053	0.054	0.043
A-3	0.037	0.019	0.042	0.022	0.018	0.031	0.012	0.012	0.011
A-4	0.006	0.007	0.009	0.006	0.007	0.008	0.016	0.017	0.024
A-5	0.023	0.049	0.033	0.036	0.051	0.035	0.066	0.065	0.094
A-6	0.023	0.026	0.023	0.030	0.024	0.026	0.071	0.070	0.080
A-7	0.001	0.004	0.005	0.001	0.002	0.003	0.026	0.026	0.056
A-8	0.024	0.025	0.037	0.023	0.025	0.030	0.050	0.050	0.062
A-9	0.006	0.002	0.005	0.004	0.002	0.004	0.038	0.038	0.025
A-10	0.084	0.089	0.060	0.093	0.084	0.077	0.072	0.072	0.063
A-11	0.078	0.122	0.205	0.106	0.121	0.156	0.081	0.077	0.127
A-12	0.165	0.205	0.158	0.186	0.209	0.172	0.080	0.079	0.080
A-13	0.057	0.035	0.037	0.049	0.035	0.043	0.069	0.069	0.051
A-14	0.064	0.053	0.056	0.064	0.053	0.060	0.071	0.070	0.065
A-15	0.078	0.047	0.028	0.069	0.049	0.048	0.073	0.071	0.042
A-16	0.036	0.022	0.019	0.024	0.022	0.020	0.094	0.104	0.058
A-17	0.043	0.076	0.042	0.051	0.080	0.048	0.049	0.048	0.053
A-18	0.008	0.005	0.005	0.007	0.005	0.007	0.022	0.022	0.018

Normalizasyondan sonra sırasıyla formül 2.2.2 ve 2.2.3 kullanılarak her bir kriterin entropi değeri ve her bir kriterin ağırlık değeri belirlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4

Kriterlere ilişkin entropi ve ağırlık değerleri

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
e_j	0.8736	0.8573	0.8480	0.8690	0.8521	0.8648	0.9642	0.9638	0.9565
w_j	0.1330	0.1501	0.1599	0.1378	0.1556	0.1422	0.0376	0.0381	0.0457

Hesaplamalara göre kriter ağırlık sıralaması C-3 (0.1599) > C-5 (0.1556) > C-2 (0.1501) > C-6 (0.1422) > C-4 (0.1378) > C-1 (0.1330) > C-9 (0.0457) > C-8 (0.0381) > C-7 (0.0376) olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, imalat sektörlerin risk seviyelerinin belirlenmesinde ölüm sayısı en büyük etkiye sahip olabilir. Risk seviyesi üzerine standardize iş kazası oranının etkisi oldukça düşük çıkmıştır.

Ağırlıkların Entropi yöntemi ile hesaplanmasından sonra, ARAS yöntemi kullanılarak imalat sektörlerinin sıralaması belirlenmiştir. ARAS yönteminde entropi yönteminde kullanılan karar matrisi (Tablo 2) kullanılmıştır. Normalizasyon işleminden önce her bir kriteri derecelendirmek için uygun alternatif yolu belirlenmiştir. Bu çalışmada, fayda türü kriterlerinin tamamı maksimum olarak kullanılmıştır. Daha sonra karar matrisi formül 2.3.3 ile normalize edilmiştir. Normalize edilen verilerden oluşan matris Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5

ARAS yöntemine ilişkin normalizasyon verileri

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
Optimum	0.141	0.170	0.170	0.157	0.173	0.147	0.086	0.094	0.113
A-1	0.120	0.096	0.116	0.094	0.098	0.107	0.051	0.051	0.043
A-2	0.110	0.082	0.081	0.097	0.080	0.090	0.048	0.049	0.039
A-3	0.032	0.015	0.035	0.019	0.015	0.027	0.011	0.011	0.010
A-4	0.005	0.006	0.008	0.005	0.006	0.007	0.015	0.015	0.021
A-5	0.020	0.040	0.027	0.030	0.042	0.030	0.060	0.059	0.084
A-6	0.019	0.021	0.019	0.025	0.020	0.022	0.065	0.063	0.071
A-7	0.001	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002	0.024	0.023	0.050
A-8	0.021	0.021	0.031	0.020	0.021	0.026	0.045	0.046	0.055
A-9	0.005	0.001	0.004	0.003	0.001	0.003	0.035	0.035	0.023
A-10	0.072	0.074	0.050	0.078	0.069	0.066	0.066	0.065	0.056
A-11	0.067	0.101	0.170	0.089	0.100	0.133	0.074	0.070	0.113
A-12	0.141	0.170	0.131	0.157	0.173	0.147	0.074	0.071	0.071
A-13	0.049	0.029	0.031	0.041	0.029	0.036	0.063	0.062	0.045
A-14	0.055	0.044	0.046	0.054	0.044	0.051	0.064	0.064	0.058
A-15	0.067	0.039	0.023	0.058	0.040	0.041	0.067	0.064	0.037
A-16	0.031	0.018	0.015	0.020	0.018	0.017	0.086	0.094	0.051
A-17	0.037	0.063	0.035	0.043	0.066	0.041	0.045	0.044	0.047
A-18	0.007	0.004	0.004	0.006	0.004	0.006	0.020	0.020	0.016

Daha sonra ağırlıklı ve normalleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir (Tablo 6). Bu matrisi elde etmek için normalleştirilmiş veriler, Tablo 4'teki kriterlerin ağırlık değerleri ile çarpılmıştır. Tablo 6'daki ağırlıklı normalize edilmiş kullanılarak her bir alternatif için kriterlerin değerleri toplanarak optimizasyon fonksiyonun değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, formül 2.3.7'deki gibi her bir alternatifin optimizasyon değeri (S_i) optimal optimizasyon değerine (S_0) bölerek her alternatifin en yüksek dereceli seviyesi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6

Ağırlıklandırılmış ve normalize edilmiş veriler

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
Optimum	0.0188	0.0255	0.0272	0.0217	0.0269	0.0209	0.0032	0.0036	0.0051
A-1	0.0160	0.0143	0.0185	0.0130	0.0152	0.0153	0.0019	0.0019	0.0020
A-2	0.0147	0.0124	0.0130	0.0134	0.0124	0.0128	0.0018	0.0019	0.0018
A-3	0.0043	0.0023	0.0056	0.0026	0.0023	0.0038	0.0004	0.0004	0.0004
A-4	0.0007	0.0009	0.0012	0.0008	0.0009	0.0010	0.0006	0.0006	0.0010
A-5	0.0026	0.0061	0.0043	0.0042	0.0066	0.0042	0.0023	0.0022	0.0038
A-6	0.0026	0.0032	0.0031	0.0034	0.0030	0.0032	0.0025	0.0024	0.0032
A-7	0.0001	0.0006	0.0006	0.0002	0.0002	0.0003	0.0009	0.0009	0.0023
A-8	0.0027	0.0031	0.0049	0.0027	0.0032	0.0037	0.0017	0.0017	0.0025
A-9	0.0006	0.0002	0.0006	0.0005	0.0002	0.0004	0.0013	0.0013	0.0010
A-10	0.0095	0.0110	0.0080	0.0108	0.0108	0.0093	0.0025	0.0025	0.0026
A-11	0.0089	0.0152	0.0272	0.0123	0.0156	0.0189	0.0028	0.0027	0.0051
A-12	0.0188	0.0255	0.0210	0.0217	0.0269	0.0209	0.0028	0.0027	0.0032
A-13	0.0065	0.0044	0.0049	0.0057	0.0044	0.0052	0.0024	0.0024	0.0021
A-14	0.0073	0.0066	0.0074	0.0075	0.0068	0.0073	0.0024	0.0024	0.0026
A-15	0.0089	0.0058	0.0037	0.0080	0.0063	0.0059	0.0025	0.0024	0.0017
A-16	0.0042	0.0028	0.0025	0.0028	0.0028	0.0025	0.0032	0.0036	0.0024
A-17	0.0049	0.0095	0.0056	0.0059	0.0103	0.0058	0.0017	0.0017	0.0021
A-18	0.0009	0.0007	0.0006	0.0008	0.0007	0.0008	0.0007	0.0008	0.0007

Tablo 7

Optimallik fonksiyon değerleri ve alternatiflerin sıralanması

Alternatifler	S_i	K_i	Sıralama
Optimal	0.152836		
A-1	0.098102	0.6419	3
A-2	0.084041	0.5499	4
A-3	0.022118	0.1447	14
A-4	0.007552	0.0494	15
A-5	0.036268	0.2373	10
A-6	0.02664	0.1743	12
A-7	0.006103	0.0399	18
A-8	0.026302	0.1721	13
A-9	0.006255	0.0409	17
A-10	0.067055	0.4387	5
A-11	0.108708	0.7113	2
A-12	0.143414	0.9384	1
A-13	0.038011	0.2487	9
A-14	0.050402	0.3298	6
A-15	0.045311	0.2965	8
A-16	0.026683	0.1746	11
A-17	0.047495	0.3108	7
A-18	0.006703	0.0439	16

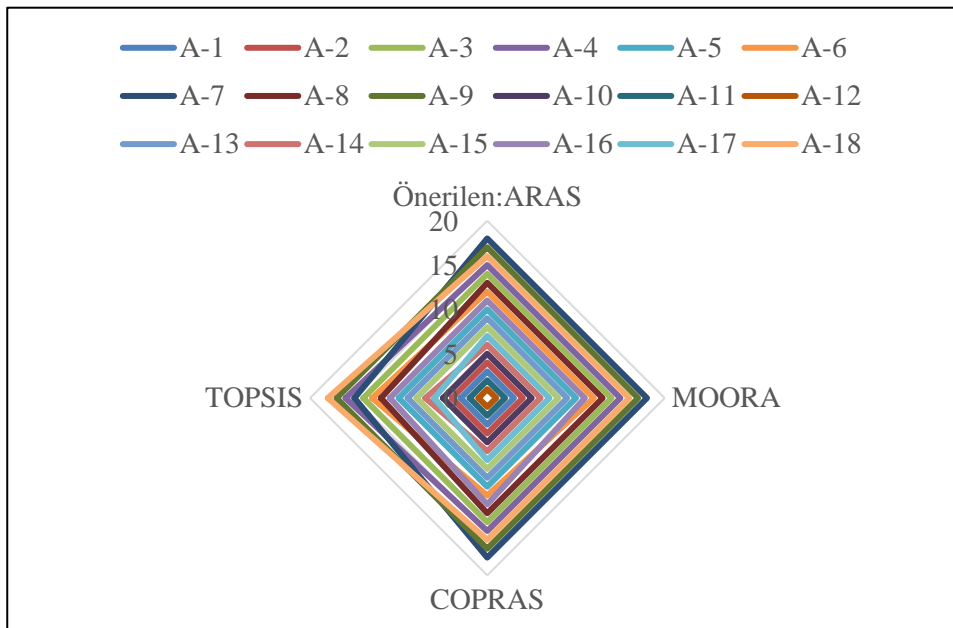
Ayrıca, önerilen entropi-ARAS metodolojisinin sıralama sonuçlarının, uygulanabilirliğini doğrulamak için diğer yaygın çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodolojilerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Entropi-ARAS yaklaşımıyla elde edilen sıralama sonuçları, TOPSIS (İdeal Çözümeye Dayalı Sıralama Tekniği), MOORA (Oran analizi bazında çok amaçlı optimizasyon), COPRAS (Karmaşık orantılı değerlendirme) yaklaşımları ve sıralama sonuçları Tablo 8 ve Şekil 2'de verilmiştir. Bütün ÇKKV yöntemlerinde A-12 alternatifinin diğer tüm alternatifler içinde en yüksek olduğu görülmektedir. Karşılaştırmada kullanılan diğer yaklaşımlarda da A-12

alternatifini A-11, A-1, A-2 ve A-10 alternatifleri takip etmektedir. ARAS yaklaşımında çıkan sonuçlar MOORA yaklaşımı ile birebir benzerlik göstermektedir. Ancak, ARAS yaklaşımı sonuçları ile COPRAS ve TOPSIS sonuçları karşılaştırıldığında ise bazı farklılıklar görülmektedir. Örneğin, ARAS yönteminde A-7 alternatifi son sırada iken, TOPSIS yönteminde son sırada A-18 alternatifi çıkmıştır. TOPSIS de birkaç sonuçta ARAS yaklaşımına göre farklı çıkmıştır. COPRAS yöntemi ile çıkan tek fark ise A-6 alternatifi ile A-16 alternatifi sırasının yer değiştirmesidir. Bu nedenle, önerilen entropi-ARAS'ın imalat sektörlerinin risk seviyelerinin makul bir doğrulukla derecelendirilmesinde kullanılabileceği bildirilebilir.

Tablo 8

Önerilen yöntemin diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ile karşılaştırılması

Alternatifler	Entropi-ARAS	Entropi-MOORA	Entropi-COPRAS	Entropi-TOPSIS
A-1	3	3	3	3
A-2	4	4	4	4
A-3	14	14	14	14
A-4	15	15	15	16
A-5	10	10	10	10
A-6	12	12	11	13
A-7	18	18	18	15
A-8	13	13	13	12
A-9	17	17	17	17
A-10	5	5	5	5
A-11	2	2	2	2
A-12	1	1	1	1
A-13	9	9	9	9
A-14	6	6	6	7
A-15	8	8	8	8
A-16	11	11	12	11
A-17	7	7	7	6
A-18	16	16	16	18



Şekil 2. Çok kriterli karar verme tekniklerinin karşılaştırılması

Orman ürünleri sektörlerinin risk düzeyleri kendi içerisinde analiz edildiğinde, kriterlerin ağırlık değerleri C-5 > C-2 > C-1 > C-4 > C-6 > C-3 > C-9 > C-7 > C-8 şeklinde çıkmıştır. Orman ürünleri sektörlerinin risk düzeylerinin belirlenmesinde sürekli iş görmezlik dereceleri kriteri en fazla etkiye sahip olduğu çıkmıştır. En düşük etkiye sahip kriter olarak iş kazası sıklık hızı çıkmıştır. En fazla risk düzeyine sahip olan orman ürünleri sektörü olarak ise mobilya imalatı çıkmıştır. İmalat sektörleri alt sektörler bazında incelendiğinde kriterlerin önem düzeyleri farklılık göstermiştir.

Tablo 9

Orman ürünleri sektörlerinin karşılaştırılmasında hesaplanan entropi ve ağırlık değerleri

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
ej	0.3022	0.2914	0.3314	0.3053	0.2907	0.3191	0.3363	0.3378	0.3335
wj	0.1134	0.1152	0.1087	0.1129	0.1153	0.1107	0.1079	0.1076	0.1083

Tablo 10

Orman ürünleri sektörlerine ilişkin sıralama sonuçları

	ARAS	MOORA	COPRAS	TOPSIS
Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri	3	2	3	3
Kağıt ve kağıt ürünleri	2	3	2	2
Mobilya	1	1	1	1

4. Sonuçlar

İmalat sanayisi içerisinde yer alan 18 farklı sektörün 2015-2021 yılları arasında meydana gelen iş kazaları istatistikleri yardımıyla sektörlerin risk düzeyleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için hangi sektörün daha fazla riske sahip olduğunu belirlemek için ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan hibrit entropi-ARAS tekniği kullanılmıştır. Ayrıca orman ürünleri sektörlerinde risk düzeyleri de kendi içerisinde karşılaştırılmıştır.

İmalat sektörlerinin risk düzeylerinin karşılaştırılmasında kullanılan kriterlerden en fazla etkiye sahip olan kriter iş kazası sonrası meydana gelen ölüm sayısı olarak belirlenmiştir. Sektörlerin risk düzeylerinin belirlenmesinde hesaplanmalar sonucunda elde edilen standardize iş kazası oranı, iş kazası sıklık hızı ve iş kazası ağırlık hızı kriterlerinin etkisi oldukça düşük çıkmıştır. Orman ürünleri sektörleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde, risk düzeyini en fazla etkileyen kriter olarak sürekli iş görmezlik dereceleri bulunmuştur. Bütün imalat sektörleri değerlendirildiğinde en düşük etkiye sahip olan kriterler orman ürünleri sektörlerinin değerlendirilmesinde de benzer kriterler (standardize iş kazası oranı, iş kazası sıklık hızı, iş kazası ağırlık hızı) çıkmıştır.

ARAS yöntemine göre imalat sektörleri arasında en fazla risk düzeyine sahip sektör fabrikasyon metal ürünleri imalatı olarak belirlenmiştir. Kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı en az risk düzeyine sahip sektör olarak çıkmıştır. Orman ürünleri alanında faaliyet gösteren sektörlerin (ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri, kağıt ve kağıt ürünleri, mobilya) risk düzeyleri ise orta düzeyde çıkmıştır. Orman ürünleri kendi içerisinde karşılaştırıldığında mobilya sektörünün daha fazla risk içerdiği bulunmuştur. Ayrım ve Can (2017) CIRITIC yöntemini kullanarak 14 farklı sektörün içerisinde en riskli sektör olarak tekstil ürünleri imalatını bulmuştur. Can ve Kargı (2019) da CIRITIC tabanlı EDAS yöntemini kullanarak 17 sektör içerisinde kok kömürü ve petrol ürünleri imalatını risk düzeyi en yüksek sektör olarak belirlemiştir. 2022 yılında yapılan başka bir çalışmada da Türkiye'deki sektörlerin risk değerlendirmesi CIRITIC tabanlı Gri ilişkisel yöntemi ile yapılmış ve inşaat sektörü en riskli sektör olarak bulunmuştur (Elmas Atay ve Kuzu Yıldırım, 2022). Sektörlerin risk düzeylerinin belirlenmesi ile ilgili daha önceden yapılan araştırmalarda genel olarak karar verme yöntemi olarak CIRITIC tabanlı yöntemler ve kriter olarak da iş kazası geçiren kişi sayısı, meslek hastalığına

yakalanan kişi sayısı, toplam geçici iş göremezlik süresi, meslek hastalığı sonucu gelir bağlanan sigortalı sayısı, iş kazası sonrası gelir bağlanan sigortalı sayısı, iş kazası sonrası ölen sigortalı sayısı kullanılmıştır. Bu çalışma ise kullanılan yöntem, yıl ve kriterler bakımından farklılık göstermektedir. Ayrıca, farklı karar verme yöntemleri yardımıyla da kullanılan yöntemin doğruluğu ve güvenilirliği test edilmiştir.

Önerilen yöntemin sonuçlarının diğer karar verme yaklaşımları ile karşılaştırıldığında güvenilir olduğu kanıtlanmıştır. Bu nedenle çalışma, Entropi-ARAS yönteminin imalat sektörlerinin risk düzeylerinin belirlenmesinde iyi bir araç olduğunu göstermektedir.

Yazar Katkıları

Nadir Ersen: Araştırmayı tasarlamış, analiz sürecinde yer almış ve makaleyi yazmıştır.

İlker Akyüz: Verilerin analizini yapmış ve literatür taraması yapmıştır.

Kadri Cemil Akyüz: Verileri toplamış ve literatür taraması yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Makalede herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Adamopoulos, I. P. ve Syrou, N. F. (2022). Workplace safety and occupational health job risks hazards in public health sector in Greece. *European Journal of Environment and Public Health*, 6(2), em0118. <https://doi.org/10.21601/ejeph/12229>
- Ak, M. F., Yücesan, M. ve Gül, M. (2022). Occupational health, safety and environmental risk assessment in textile production industry through a Bayesian BWM-VIKOR approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36, 629-642. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02069-y>
- Akın, G. C., Eren, Ö., Oral, H. V. ve Heperkan, H. A. (2020). Yeni bir risk değerlendirmesi yöntemi ile tersane işletmelerin sınıflandırılması. *Business & Management Studies: An International Journal*, 8(1), 2372-2384.
- Ayırım, Y. ve Can, G. F. (2017). Risk değerlendirmesinde CRITIC metodu ile sektörlerin karşılaştırılması. *Journal of Turkish Operations Management*, 1(1), 67-78.
- Azadfallah, M. (2017). Comparative analysis of different measurement scale and normalization method performances in ELECTRE method. *National Journal of System and Information Technology*, 10(2), 127-138.
- Can, G. F. ve Kargı, Ş. (2019). Sektörlerin iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk seviyelerinin CRITIC -EDAS entegrasyonu ile değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 30(1), 15-31.
- Chen, C. H. (2020). A novel multi-criteria decision-making model for building material supplier selection based on entropy-AHP weighted TOPSIS. *Entropy*, 22(2), 259-281. <https://doi.org/10.3390/e22020259>
- Chen, W., Feng, D. ve Chu, X. (2015). Study of poverty alleviation effects for Chinese fourteen contiguous destitute areas based on entropy method. *International Journal of Economics and Finance*, 7(4), 89-98. <https://doi.org/10.5539/ijef.v7n4p89>
- Elmas Atay, S. ve Kuzu Yıldırım, S. (2022). İş sağlığı ve güvenliği açısından sektörlerin risk düzeylerinin CRITIC tabanlı gri ilişkisel analiz yöntemiyle sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 47, 181-193.
- Eurostat. (2019). Accidents at work statistics. Erişim adresi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics

- Firouzi, S., Allahyari, M. S., Isazadeh, M., Nikkhah, A. ve Haute, S. V. (2021). Hybrid multi-criteria decision-making approach to select appropriate biomass resources for biofuel production. *Science of The Total Environment*, 770, 144449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144449>
- Goswami, S. S. ve Behera, D. K. (2022). Implementation of ENTROPY-ARAS decision making methodology in the selection of best engineering materials. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2252-2262. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.320>
- Gottwald, D., Jovcic, S. ve Lejskova, P. (2022). Multi-criteria decision-making approach in personnel selection problem-a case study at the university of Pardubice. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 2(56), 149-164.
- Heidary Dahooie, J., Husseinzadeh Kashan, A., Shoaie Naeini, Z., Vanaki, A. S., Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2022). A hybrid multi-criteria-decision-making aggregation method and geographic information system for selecting optimal solar power plants in Iran. *Energies*, 15(8), 2801. <https://doi.org/10.3390/en15082801>
- Karadağ Ak, Ö., Hazar, A. ve Babuşcu, Ş. (2022). Evaluation of the financial performance of development and investment banks with entropy-based ARAS method. *Macroeconomics and Finance in Emerging Market Economies*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/17520843.2022.2035523>
- Karadağ, S. E. (2010). *Türk inşaat sektörünün iş güvenliği açısından risk analizi* (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Korkusuz, A. Y., İnan, U. H., Özdemir, Y. ve Başlıgil, H. (2020). Entegre çok kriterli karar verme yöntemleriyle sağlık sektöründe iş sağlığı ve güvenliği performansının ölçülmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(1), 81-96.
- Liu, N. ve Xu, Z. (2021). An overview of ARAS method: Theory development, application extension, and future challenge. *International Journal of Intelligent Systems*, 36(7), 3524-3565. <https://doi.org/10.1002/int.22425>
- Liu, R., Liu, Z., Liu, H. C. ve Shi, H. (2021). An improved alternative queuing method for occupational health and safety risk assessment and its application to construction excavation. *Automation in Construction*, 126, 103672. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103672>
- Meidelfi, M., Idmayanti, R., Maulidani, F., Ilham, M. ve Muhlis, F. A. (2022). Additive Ratio Assessment (ARAS) method in the selection of popular mobile games. *International Journal of Advanced Science Computing and Engineering*, 4(1), 56-66.
- Oliveira, M. D., Lopes, D. F. ve Bana e Costa, C. A. (2018). Improving occupational health and safety risk evaluation through decision analysis. *Int. Trans. Oper. Res.*, 25(1), 375-403. <https://doi.org/10.1111/itor.12339>
- Resmi Gazete. (2017). 27.02.2017 tarih ve 29992 (Mükerrer) sayılı Resmi Gazete, İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin işyeri tehlike sınıfları tebliğinde değişiklik yapılmasına dair tebliğ, ek 1, sayfa 39. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/02/20170227M1-1.htm>
- SGK. (2021). İş kazası ve meslek hastalıkları istatistikleri-2015-2021 yılı verileri. Erişim adresi: <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>
- Shannon, C. E. ve Weaver, W. (1948). The Mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379-423.
- Şişman, B. (2017). Hata türü ve etkileri analizinde bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemleri ile otomotiv sektöründe risk değerlendirmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(18), 234-250.
- Woo Lee, P. T., Wei Lin, C. ve Ho Shin, S. (2012). A comparative study on financial positions of shipping companies in Taiwan and Korea using entropy and grey relation analysis. *Expert Systems with Applications*, 39, 5649-5657. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.052>

- Yıldırım, B. F. (2015). Çok kriterli karar verme problemlerinde ARAS yöntemi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(9), 285-296.
- Zavadskas, E. K. ve Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>

Production and Characterization of Particle Board Laminated with Wallpaper and Wood Veneer

Orhan Kelleci¹, Süheyla Esin Köksal^{2,*}, Gül Tekingündüz³

^{1,2,3} Bolu Abant İzzet Baysal University, Mudurnu Sureyya Astarci Vocational School, Department of Forestry, Bolu, Turkey

Article History

Received: 19.01.2023

Accepted: 15.05.2023

Published: 15.08.2023

Research Article



Abstract – In this study, the lamination process on the particle board (PB) surface was carried out during the board production and the possibilities of saving wood raw material, time, labor and cost by producing the board without the need for cooling, sanding and a separate lamination process were investigated. For this purpose, ready-to-use boards were obtained by covering the board surfaces with wallpaper (WP) and beech veneer (BV) with a single hot press process. The boards were obtained by placing wallpaper and beech veneer on the surface of the chipboard draft prepared in a single layer with a thickness of 16 mm and pressing. No fine wood chips were used on the surface. 1mm thickness BV and 300 gr/m² WP were used to cover the PB surfaces. Urea formaldehyde (UF) was treated the surface of 2 % humid wood chips (CL) according to its dry weight by 10 % and ammonium sulfate (AS) with 4 % according to solid UF. Concentration of UF and AS were 65 % and 30 % before the treated the wood chips. Particle boards were produced at 650 kg/m³, at 190°C for 10 minute, by applying 30 kg/cm² pressure on PB. Density, water absorption (WA), thickness swelling (TS), modulus of rupture and elasticity (MOR and MOE), internal bond (IB), density profile and formaldehyde emission were determined according to the relevant TSE standards. According to the obtained results, IB strength of the coated PBs were lower than the control PB. But MOR and MOE strength were high then control samples due to BV and WP. Formaldehyde emissions of covered PBs were less than control samples. As a result, it was concluded that it is possible to produce the PB by pressing at the same time with coating materials. However, it is not currently suitable for furniture production due to its low IB strength, but it can be used as construction building material such as prefabricated house wall.

Keywords – Formaldehyde emissions, particleboard, production efficiency, wood-based panel.

Duvar Kağıdı ve Ahşap Kaplama ile Lamine Edilen Yonga Levhaların Üretimi ve Karakterizasyonu

^{1,2,3} Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mudurnu Süreyya Astarci Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü, Bolu, Türkiye

Article History

Received: 19.01.2023

Accepted: 15.05.2023

Published: 15.08.2023


Research Article

Öz – Bu çalışmada yonga levha yüzeyine laminasyon işlemi levha üretimi sırasında gerçekleştirilmiş ve soğutma, zımparalama ve ayrı bir laminasyon işlemlerine ihtiyaç duyulmadan levha üretilerek odun hammaddesinden, zamandan, işçilikten ve maliyetten tasarruf sağlanma olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, tek sıcak pres işlemi ile levha yüzeyleri duvar kağıdı (WP) ve kayın kaplama (BV) ile kaplanmış ve kullanıma hazır levhalar elde edilmiştir. Levhalar, tek kat 16 mm kalınlığında hazırlanan yonga levha taslağının yüzeyine duvar kağıdı ve kayın kaplama yerleştirilip preslenerek elde edilmiştir. Yüzeyde ince odun talaşı kullanılmamıştır. Levha yüzeylerini kaplamak için 1mm kalınlıkta kayın kaplama ve 300 gr/m² duvar kağıdı kullanılmıştır. Levha üretimi için % 2 rutubette talaşa (CL) tam kuru ağırlığına oranla % 10 katı üre formaldehit (UF) ve katı tutkal oranına göre % 4 katı amonyum sülfat (AS) kullanılmıştır. UF ve AS sırasıyla % 65 ve % 30 konsantrasyonda hazırlanarak yongalara basınçlı hava ile püskürtülmüştür. Levhalar 190°C'de, 10 dakika boyunca 30 kg/cm² basınç uygulanarak 650 kg/m³ yoğunlukta üretilmiştir. Yoğunluk, su alma (WA), kalınlığına şişme (TS), eğilme direnci ve elastikiyet modülü (MOR ve MOE), yüzeye dik yapışma direnci (IB), yoğunluk profili ve formaldehit emisyonu ilgili TSE standartlarına göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kaplanmış yonga levhaların yüzeye dik yapışma dirençleri kontrol örneklerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak levhaların kayın kaplama ve duvar kağıtları ile kaplanması, eğilme direnci ve elastikiyet modülünün kontrol örneklerinden daha yüksek olmasına sebep olmuştur. Ayrıca kaplanmış levhalarda formaldehit emisyonlarının kontrol örneklerinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışma ile yonga levhaların kaplama malzemeleri ile aynı anda preslenerek üretilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak iç yapışma direncinin düşük olması sebebiyle kaplamalı olarak üretilen levhalar mobilya üretimine uygun görülmemekle birlikte bu levhalar prefabrik ev duvarı gibi inşaat yapı malzemesi üretiminde değerlendirilebilecektir.

Keywords – Formaldehit emisyonu, yonga levha, üretim verimliliği, ahşap esaslı panel.

¹  orhankelleci@ibu.edu.tr

²  esinkoksal@ibu.edu.tr

³  gulakbulut@ibu.edu.tr

*Corresponding Author

1. Introduction

The consumption of forest products is increasing due to the rapid population growth in the world, and the existing wood raw material cannot meet the needs of the industry. The efficient use of wood material or its protection by various methods (impregnation, heat treatment, acetylation, etc.) also means the preservation of forest assets. As a result, it is necessary to evaluate wood in the most economical way and to ensure its rational use (Kalaycıoğlu, 1997). Wood composite boards such as particle board (PB) and medium density fiberboard (MDF) have been produced in order to ensure maximum efficiency from wood raw materials. Wood-based board products have an important place in the forest products industry. PB and MDF are heavily preferred in many areas due to their properties. These can be listed as follows. They have a smooth surface, can be produced in the desired thickness, have a relatively homogeneous structure, can be combined with nails, screws and glues, can be produced in large sizes, and top surface treatments can be applied (İstek et al., 2017). In addition, other advantages are that they can be produced resistant to biotic and abiotic pests and fire, they can be easily processed, there are no defects such as knots, rot and fiber curl seen in solid wood materials, and they are relatively cheap (Eroğlu & Usta, 2000; Istek et al., 2010).

PBs are generally used in the furniture industry and therefore surfaces of the boards are coated various colors and patterns. Thus, PBs' surfaces must be smooth, hard, and durable so that they can be coated and laminated. For this reason, PBs consist of a high-density (900-1000 kg/m³) bottom and top layer (SL) and a lower-density (500-550 kg/m³) core layer (CL). SL layers consist of fine wood particles than CL. As the material size decreased, its surface area was increase. Thus, more area occur where they must be glued. It means that more glue and more cost.

PB's surfaces can be covered with laminates, phenolic kraft papers, polyvinyl acetate-based decorative papers, polyvinyl chloride-based papers, various resin-impregnated papers, ammonium sulfamate-impregnated papers, and thin papers. In addition, surface coating materials such as foils, hot transfer films, wood veneer sheets, lacquer paint and pattern printing can be also used (İstek et al., 2017; Kara et al., 2014; Muğla et al., 2014). Also, PBs were covered to suppress the absorption of water and moisture and to eliminate the release of formaldehyde (Vansteenkiste, 1981). The performance of coated board depends on the quality of the board and the type of coating material (Hoag, 1993; Sparkes, 1993). Conventionally PB boards production process were summarized below.

1. Board (PB or MDF) is produced,
2. Boards are conditioned at room temperature for 2 days,
3. The boards surface are sanded for smoothness and thickness calibration,
4. The boards surface are covered with the desired coating material,
5. The covered boards are laminated by hot press (Istek et al., 2010).

There has not been much research on the physical and mechanical properties of particle boards coated with different surface coating materials. Some studies are as follows. Dziurka and Doniesienia (2013) produced lightweight boards from wood and rape straw particles at a single cycle hot. It was reported that rape straw particles can be used in the production of lightweight particle boards and are a good alternative to wood chips. Particleboards made from rape straw coated with beech veneer to strengthen the sub-surface layers during the pressing process have better properties than the corresponding woodchip-based particleboards. Also, these PBs provided the necessary IB strength (0.35 MPa) according to particleboards (MOR 11 N/mm², MOE 1600 N/mm², EN 312). Rowell et al. (1989) examined the dimensional stability, decay resistance and mechanical properties of veneer coated low density PB made of acetylated wood and reported that acetylated PBs showed excellent dimensional stability in both liquid water and moisture tests and an 8-week soil block. In the test, they were resistant to attack by *Tyromyces palustris* and *Trametes versicolor*. In a study on increasing the bond strength between wood composites and wood veneers, it was reported that wood veneers provide better adhesion strength when maleic anhydride polyethylene (MAPE) film is used. Atar (1994) revealed that unstable furniture shelves also show little bending under constant loads when solid wood veneer is adhered to the edges and surfaces of fiberboards and particleboards. In a study by Akkılıç (2004), finish foil (0.32 mm

thick, decoratively printed, resin-impregnated special paper), laminate (0.7 mm thick HPL) and Oak veneer (*Quercus petraea*, 0.6 mm thick) were used as surface coating materials and it was reported that physical and mechanical properties of particle board (PB) coated with different surface materials have improved depending on the surface coating material. Badila (2014) studied about powder coating of veneered particle board surfaces by hot pressing and reported that optimum results are obtained for all six coating types with a single coat and a coating thickness of around 100-140 μm . Budakçı (2010) studied to determine the adhesion strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Sessile oak (*Quercus petraea* L.), Eafstern beech (*Fagus orientalis* L.) wood veneer and synthetic resin panel (laminate) on 18 mm particle board, medium density fiberboard (MDF) and ply-wood material in different amounts (100, 150, 200 g/m^2) which were stuck with Polyvinyl acetate (PVAc), Urea-formaldehyde (UF) and contact (rubber based) adhesives. The highest adhesion strength was observed on laminate on which adhesive was applied with 200 g/m^2 PVAc adhesive on plywood, the lowest adhesion strength was observed on particle board which was stuck with 200 g/m^2 contact adhesive on Eastern beech veneer. In a study, radial and tangential veneers made of pine, beech and oak were adhered to particleboard, MDF, oriented particleboard (OSB) surfaces with polyvinyl acetate (PVA) and UF glue. The highest adhesion strength was obtained from radially oriented coatings. The adhesion resistance of tangential wood coatings to the boards was low (Kılıç, 2006). In another study Göker et al. (1984) reported that when the surfaces of 16, 19 and 25 mm thick ocal type particle boards are covered with wood veneer, their strength properties increase. Nemli ve Çolakoğlu (2005) studied about the influence of lamination technique on the properties of particleboard and reported that the coating of particleboard surfaces decreased the formaldehyde emission and veneer coating was more effective than melamine paper on the thickness swelling, bending strength, and modulus of elasticity properties of the PB. In these studies, initially PB or MDF were produced then surface of boards were coated or laminated by a hot press exclude Dziurka and Doniesienia (2013) and Rowell (1989). These two studies are similar with our study in term of PB production method which is single cycle that is PB production, and its lamination stages were made same hot press at once. But, these two studies were studied about dimensional stability, decay resistance, low-density and alternative raw material to wood such as straw rape.

This study focuses on two problems. First, to reduce the amount of wood in the PB. Second, to make laminating the PB top surface easier and cost-effective. The aim of the study is to produce single layer finished PB by veneered with BV and WP. In this way, to ensure to produce the PB by less wood raw material. Also, to produce the finished board by BV and WP at heat press at once. In this way, the boards will not need to be cooled, sanded and pressed in a separate hot press, thus saving time, money and labor.

2. Materials and Methods

Materials

Wood chips (CL), urea formaldehyde (UF) and ammonium sulfate (AS) used in the study were supplied from Yıldız Entegre Bolu firm. CL moisture ratio was calculated as 2 % before gluing and 13 % after gluing according to Equation 1. CL sieve analysis results are given in Table 1 and some physical properties of AS and UF are given in Table 2. Samples thickness swelling and water absorbtion quantity were calculated according to equation 2 and equation 3 respectively.

$$\text{Moisture Content (MC)}(\%) = \frac{M_h - M_0}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

M_h : Humid mass, M_0 : Dry mass.

$$\text{Water Absorption (WA)}(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (2)$$

M_i : Initial mass, M_f : Final mass.

$$\text{Thickness Swelling (TS)}(\%) = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (3)$$

T_i : Initial thickness, T_f : Final thickness.

Table 1
Screened wood chip fractional analyses

Size (mm)	Weight (g)	Rate (%)
7<	536	10%
7×7	420	8%
4×4	487	9%
2×2	495	10%
1×1	482	9%
0.8×0.8	412	8%
0.5×0.5	396	8%
0.4×0.4	487	9%
0.3×0.3	433	8%
0.2×0.2	423	8%
0.1×0.1	398	8%
0.1>	221	4%
Total	5190	100%

1 m³ particulate board cost can be calculated according to updated price of the wood, resin and ammonium sulphate. In the study, 650 kg wood, 91 kg UF resin (65 % concentration) and 8 kg AS (30 % concentration) were used for 1 m³ particle board production.

Table 2
Materials properties in PB

Materials	status	Solid Content (%)	Density (gr/cm ³)	pH	Viscosity (cp)
UF	solution	65	1.284	7.4	300
AS	solution	30	1.154	5.4	12

Preparations of PB

UF glue, AS hardener and CL chips were dosed at the mixing ratios given in Table 2. For each PB samples, 1700 gr CL chips at 2 % humidity were poured into a 180-liter concrete mixer. The mouth of the mixer is covered with a metal plate with a 30 mm diameter hole in the middle. UF glue solution dosed at the rates specified in Table 3 was sprayed into the mixer with an air gun at 4 bar pressure within 60 seconds. After the spraying process, the mixer continued to work for 2 minutes, and an effective mixing of the glue and chips was ensured. The glued chips were taken from the mixer and poured manually in a mold with an area of 500 x 500 mm. There is 2 mm steel sheet at the bottom of the mold. UF glue was applied to the surfaces of wood veneer by 100 g/m² and paper coatings with a sponge. After the adhesive coatings were placed on the PB mat, a 2 mm thick steel sheet was placed on them. The prepared PB mat was placed between the hot press heating plates. The PB mats were pressed in a hot press at 190 °C for 10 minute at were sized 400 x 400 mm and conditioned for 48 hours. The conditioned PBs were cut on a circular saw and samples (8 samples for each test) were prepared for mechanical and physical analysis. Totally 4 different PB samples were produced including control group and they were symbolized CTRL, BV, WP and BV-WP. The meanings of the sample symbols are given in Table 3.

Methods

Test samples and dimensions were prepared according to TS EN 325 (2012) and TS EN 326 (1999). After the sizing of PB by cutting of edges, the test specimens were kept at 20 ± 2 °C and 65 % ± 5 % relative humidity

(RH) for two weeks. The physical and mechanical analyzes of the test samples were determined according to the relevant standards. Density (DN; n = 8), thickness swelling (TS; n = 8), moisture (MC; n = 8), internal bond (IB, n = 8), bending (MOR; n = 8) and modulus of elasticity (MOE; n = 8) were made according to TS EN 323 (1999), TS EN 317 (2005), TS EN 322 (1999), TS EN 319 (1999), TS EN 310 (1999) standards, respectively. Formaldehyde emission was determined by perforator method according to TS 4894 EN 120. Analysis results were evaluated using the SPSS statistical software program. One-way analysis of variance (ANOVA) was performed to determine statistically significant differences between samples ($P < 0.05$). In addition, Duncan's test was used to analyze significant differences between groups.

Table 3
Materials ratios in PB.

UF/CL (w/w)	Sample Code	Produced PB and Coating Materials	CL (gr)	UF ¹ (gr)	AS ² (gr)	Pro-duced PB
10% solid UF	CTRL	Uncoated PB samples	1700	235	20	2
	BV	Beech veneer coated PB (top and bottom sur-	1700	235	20	2
	WP	Wallpaper coated PB (top and bottom surface)	1700	235	20	2
	BV-WP	Beech veneer and wallpaper coated PB (top and	1700	235	20	2

1: 65% solid Urea-formaldehyde solution, 2: 30% solid Ammonium sulfate

3. Results and Discussion

Physical analysis results

According to the MC analysis results, it was determined that there was not a significant difference in the moisture content of the samples. It was seen at Table 4 that BV has lowest and BV-WP has highest MC value. Coating materials blocked the emission of wood-based composites (B. D. Park et al., 2016; J. Y. Park et al., 2013; Shishlov et al., 2021). It can be said that WP blocked the moisture emission of PB more efficiently than BV coating. There are significant differences between the TS values of the samples. The highest TS value is in CTRL samples. Here, it can be said that the coating materials both BV and WP reduce the water absorption of PBs. Same TS results obtained other studies. Nemli and Çolakoğlu (2005) reported that surface coating materials decreased the thickness swelling and formaldehyde emission of particleboard, significantly. Hwang et al. (2006) also reported that thickness swelling of the liquid packaging paperboard (LP) particleboards were smaller than those of the other particleboards.

The increase rates of 2-hour and 24-hour TS values of the samples are similar. There is approximately 29 % difference between the 2 hour and 24-hour TS values of the samples. Thickness swelling is an important feature for the end-uses of wooden boards. The wooden board will swell when it gets moisture, and this can cause breakage at the joining points. For this reason, it is better to cover the surfaces of PBs with coating materials that minimize moisture exchange. According to the 2-hour and 24-hour TS analysis results, it was determined that BV showed a better coating property than WP. Same result obtained by Büyüksarı (2012) and Nemli et al. (2005).

Table 4
Physical properties of PB test samples.

Samples	MC (%) Sig: 0,093***	TS (2hr) Sig: 0,000***	TS (24 hr) Sig: 0,001***	WA (2 hr) Sig: 0,000***	WA (24 hr) Sig: 0,000***	Density (kg/m ³) Sig: 0,096***
BV	3,79 A** (±0,9)*	45 A (±15)	63 A (±28)	71 A (±14)	101 A (±23)	786 A (±27)
WP	4,01 AB (±0,6)	67 BC (±10)	87 B (±11)	119 B (±11)	146 B (±14)	780 A (±23)
BV-WP	4,6 B (±0,6)	63 B (±8)	81 B (±9)	113 B (±12)	138 B (±13)	772 A (±24)
CTRL	4,4 AB (±0,2)	77 C (±2)	94 B (±2)	109 B (±4)	132 B (±5)	782 A (±3)

*Standard deviation, **Letters symbolize the Duncan analyzes groups, ***One-way Anova significant level

The water absorption (WA) values of the samples are also similar to the TS values. The best water absorption blocking properties was obtained BV sample. Similar results were obtained in other studies about wood veneer coating materials. Cahyono et al. (2020) laminated the MDF surfaces with avocado (*Persea americana*), mahogany (*Swietenia mahogani*), and pine (*Pinus merkusii*) veneers and reported that the wood veneer lamination decreased the water absorption of board. Also, Büyüksari et al. (2012) reported that when the board were compressed, WA values for both 2-h and 24-h decreased with increasing press pressure and temperature. They explain this issue as follows, it may be related to the densification of the surface and decreasing porosity of the veneers. When wood material is alive, it likes water, but when it is used as timber, they do not like water. For this reason, an important part of the studies are on preventing the water exchange of wooden materials from ambience. For instance, Kartal (2001) treated the PB with chromated copper arsenate (CCA) and achieved to decrease wettability, water absorption and thickness swelling of PB. Özkan et al. (2020) impregnated the wood materials by waste oil and reported that waste oil decreased the water absorption of wood materials, and it improves the physical properties of wood in terms of impregnating material. Karabulut (2022) produced fireproof, water-repellent polymeric composite particle board from peanut shells and reported that its water holding capacity was reduced from 37 percent to 20 percent with the addition of phenol formaldehyde. Also, many studies have been carried out similar to these studies (Gözalan, 2016; Güler et al., 2015; Nemli et al., 2006).

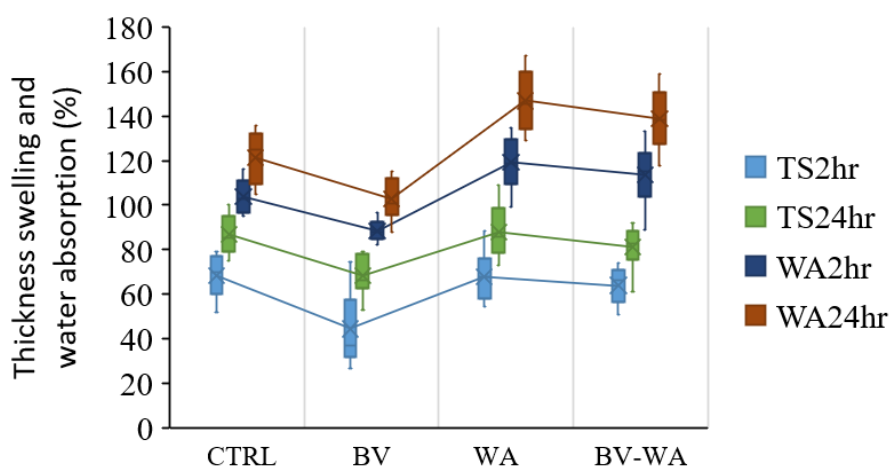


Fig. 1. Physical properties of PB: Thickness swelling (TS) and water absorption (WA).

It is seen in Fig. 1 that the analysis results of the samples show similar curves. Also, there are significant differences between the PBs densities. Both BV and WP coating materials alter the PBs densities. The density of the samples were increased by BV coating material at the highest rate (756 kg/m^3). But this is not important significant as statistically. The high densities of the PB provide high mechanical properties. In PB production, the mechanical properties of the board generally improve as the densities increase. But in this study, the differences in mechanical properties were caused by the surface coating materials.

Density profile

The top and bottom surfaces of the PB must be smooth and hard in the case of coating or laminating its surfaces. In order to achieve this purpose, the surface layers of PBs are produced more densely ($900\text{-}1100 \text{ kg/m}^3$) than core layer ($500\text{-}550 \text{ kg/m}^3$) (Istek et al., 2010). Therefore, finer wood chips are used in the surface layer. As the wood chips get smaller, their surface area also increases. This means more area that needs to be covered with glue (Schwarz et al., 1968). Therefore, the solid glue ratio used in the surface layer is higher than in the core layer while producing PB. This type of PB production creates a density profile as in Fig. 2d.

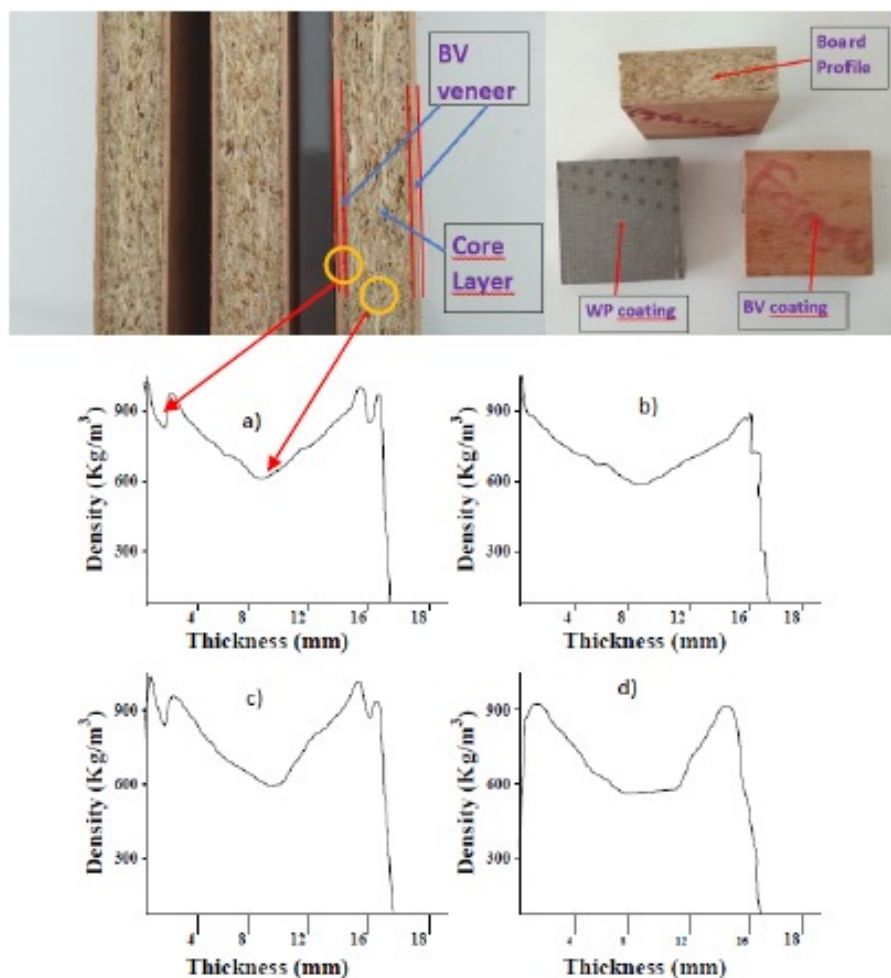


Fig. 2. Density profiles of samples, a) coated with beech veneer (BV), b) coated with wall paper (WP), c) coated with beech veneer and wall paper (BV-WP), d), uncoated PB sample.

The surface density of PB particularly affects the MOE and MOR strength. The bending strength increases as surfaces density increases (Wong et al., 1999). It was seen in Table 5 that the surface density of BV-WP higher than other samples. This caused the MOR strength to be higher than BV and WP (Table 6). All samples' central densities were nearly same because the samples were produced same CL wood particles. But surface densities were different because samples were laminated with different materials (with BV, WP and BV-WP). The surface densities of all coated samples were higher than CTRL because the coating materials increased the surface density of PB. Higher surfaces density was obtained from BV-WP. When Fig. 2a and Fig. 2c is examined, it is seen that there are sudden drops in density between the coating material and the PB. This situation is not seen in Fig. 2b and Fig. 2d. This means that there are some gaps between the coating material and the PB. In this case, the desired strong adhesion between the coating material and the PB was not achieved. However, the coating of the surface increased the bending resistances. Similar density profile curve was obtained by Dziurka and Doniesienia (2013).

Table 5
PBs' density profiles.

Samples	Surface density (kg/m ³)	Average density (kg/m ³)	Central density (kg/m ³)	From peak to peak (mm)
BV	1046	786	630	14,4
WP	1011	780	675	12,9
BV-WP	1062	772	658	13,1
CTRL	900	782	681	12.3

Mechanical analysis results

Surface coating materials increase the MOR strength of PBs (Nemli et al., 2003, 2005). In this study, the highest MOR strength was obtained from BV-WP samples. Similar results were obtained in similar studies with different surface coatings (Buyuksari, 2012; Ibrisevic et al., 2019). In general, the bending strengths of PBs increase as their density increases, but here (Table 6) the BV coated PBs have the highest densities, but the MOR strengths are low.

Table 6. Mechanical properties of PB test samples.

Samples	MOR (N/mm ²) Sig: 0,000***	MOE (N/mm ²) Sig: 0,207***	IB (N/mm ²) Sig: 0,000***
BV	12,5 B** ($\pm 2,5$)*	3426 A (± 796)	0,10 A ($\pm 0,07$)
WP	12,6 B ($\pm 1,6$)	3082 A (± 340)	0,14 A ($\pm 0,03$)
BV-WP	14,3 C ($\pm 1,1$)	3465 A (± 165)	0,10 A ($\pm 0,04$)
CTRL	10,4 A ($\pm 0,7$)	3244 A (± 63)	0,29 B ($\pm 0,17$)

*Standard deviation, **Letters symbolize the Duncan analyzes groups, ***One-way Anova significant level

UF glue was used for bonding BV and WP coating materials to PBs. UF is an adhesive that cures under the influence of temperature. The adhesion strength of UF decreases when sufficient heating does not provide. It can be said that the BV coating blocked the press heating to the PBs' inner part and therefore negatively affects the curing of the UF. This caused low MOR strength on BV coated PB although its densities were high. It was seen in fig. 3 that MOR strength range of BV was so large. It means that veneer laminations is a attention needed issue in terms of press heating and pressure. If the press temperatures, press pressure and amount of glue are not the same in each pressing, the MOR resistances can be in a wide range. In this study, the MOR resistance range was a bit too large, although it had been noted. Also, contrary to MOR strength of BV was low, the MOE strength was high. Here, it can be said that BV gives to PB more elastic properties. If BV did not hinder the thermal conductivity, it could further increase the mechanical properties.

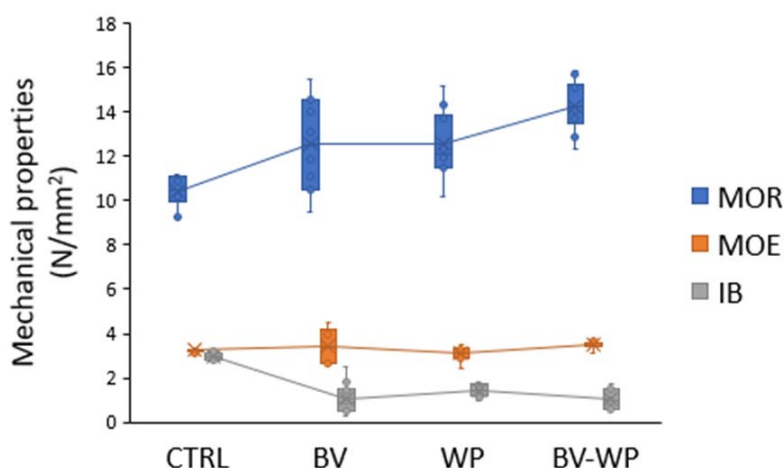


Fig. 3. Mechanical properties of PB: Modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), internal bond (IB), density.

It is seen in Fig. 3 that the analysis results show similar curves that are similar in which Fig. 2 exclude IB strength of CTRL (0,29 Mpa). Best IB strength was obtained CTRL samples. Here, it can be said that covering materials (BV and WP) negatively affect the IB strength because they hindered to heating transfer to the PB inner parts. Therefore, UF adhesive could not cure, and sufficient bonding was not carried out between the wood particles. This problem can be overcome by using thinner (0,5-1 mm) BV and WP coatings and increasing the press temperature (200-2005 °C). Overall, it can be said that BV, WP and BV-WP covering materials

increased the MOR strength and density of PB but decreased the IB strength of PB according to analysis results. In other studies, it was reported that BV coated PBs have better performance than PBs coated with other types of coatings. The high density of BV was the main factor affecting this performance. Mechanical strength was also improved with any increased adhesive spread rate onto the particleboard substrate (Ibrisevic et al., 2019).

Formaldehyde emission

UF (65 % concentration) was used in the production of PB. The UF/wood chip solids ratio is 10 %. According to the formaldehyde emission analysis, the emissions of BV, WP and BV-WP samples are lower than CTRL. It has also been reported in different studies that coating the surfaces of PBs reduces the emission values (Kim et al., 2010; Nemli & Çolakoğlu, 2005; Ulker et al., 2021). Formaldehyde emission is harmful on human health. It has been measured that the probability of indoor pollution can be 10 times higher than outdoor pollution (Zhang and Smith, 2003). For this reason, formaldehyde quantity must be decreased from indoor furniture. Sun et al. (2016) studied about volatile organic compound (VOC) and reported that the PB released Acetic acid, Butyl ester, Benzaldehyde, Ethylbenzene, Benzyl Alcohol, Acetophenone, Tetradecan are harmful to environment. Controlling VOC emissions by the authorities is very important for the protection of adult and child health. These arrangements are also useful for controlling indoor odor problems from furniture. Recently, two board manufacturers in Europe reported that they are using high renewable content "no added-formaldehyde" (NAF) adhesives in the production of PB. A few years ago, two German factories (chipboard, MDF) used quebracho (*Schinopsis* sp.) and wattle (*Acacia* sp.) tannin-based adhesives in the production of PB (Rofael et al., 2000) Despite these developments, the main adhesives used in the European wood-based panel industry today contain formaldehyde.

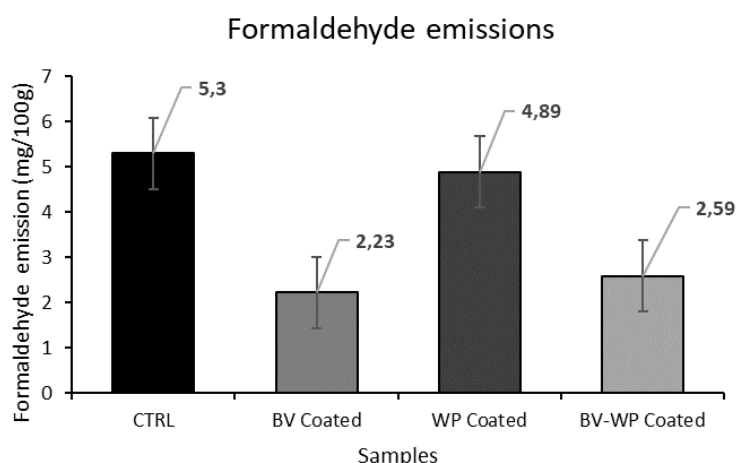


Fig. 4. PBs' formaldehyde emission results.

In this study, both PB's formaldehyde emission quantities were decreased thanks to coating it by BV, WP and BV-WP and the PB lamination method has been facilitated. Fig. 4 shows that coating the PB with BV or WP decrease the formaldehyde emissions by about 40 %. Also, it can be said that covering with BV is more effective than coating with WP.

4. Conclusions

In this study, the top and bottom surface layers of PBs were canceled and BV and WP coatings were used instead of these surfaces. Thus, it is aimed to save wood raw material by canceling the surface layer, which has a high density and constitutes approximately 30 % of the board mass. Also, un-sanded PBs cannot be laminated because of surface roughness and uncalibrated thickness in the conventional PB production. But, in this method it is possible because the PB lamination process was carried out at the time of PB production. Overall, PB lamination process can be realized with low cost thanks to this method and can be saved labor and time. Here, BV and WP were used to cover on PB mat and laminated by a heat press. Then produced PB were characterized for mechanical and physical properties. Obtained result showed that uncoated CTRL sample has

best IB strength but lowest MOR. This mean is BV and WP layer hindered the heating transferring to PBs inner part. This issue caused the uncured UF adhesive in the PB core. Thus, wood particle could not be bond each other sufficiently. In mechanical properties, exclude the IB strength, MOR and MOE better than CTRL. Also, in term of physical properties WP and BV-WP better than CTRL or same. Formaldehyde emissions were decreased thanks to laminating with BV and WP (from 5,3 to 2,23 mg/100gr). BV was more effective than WP in term of decreasing emission. It can be concluded that, if the BV was used thinner (may be 0,5-1 mm) its physical properties can be better. As a result, PB laminations process can be realized on single layer PB and in this way can be saved time, labor and wood raw materials. With this method, pressure on the forest can be decreased and realized clear and environment friendly production.

Acknowledgement

This research received specific grant from Yıldız Entegre that were adhesives and wood chips used in the study.

Author Contributions

Orhan Kelleci planned and designed the analysis.

Süheyla Esin Köksal collected and analyzed data.

Gül Tekingündüz collected and analyzed data.

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare that are relevant to the content of this article.

References

- Akkılıç, H. (2004). Farklı yüzey malzemeleri ile kaplanan yonga levhaların teknolojik özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 54(2), 109–126.
- Atar, M. (1994). Mobilya Endüstrisinde Hareketli Ahşap Dolap Raflarının Sabit Yükler Altındaki Şehimleri (Master's thesis). Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Badila, M., Jocham, C., Zhang, W., Schmidt, T., Wuzella, G., Müller, U. and Kandelbauer, A. (2014). Powder coating of veneered particle board surfaces by hot pressing. *Progress in Organic Coatings*, 77(10), 1547–1553. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2013.09.018>
- Budakci, M. (2010). The determination of adhesion strength of wood veneer and synthetic resin panel (laminated) adhesives. *Wood Research*, 55(2), 125–136.
- Buyuksari, U. (2012). Physical and mechanical properties of particleboard laminated with thermally compressed veneer. *BioResources*, 7(1), 1084–1091.
- Büyüksarı, Ü., Hızıroglu, S., Akkılıç, H. and Ayrılmış, N. (2012). Mechanical and physical properties of medium density fiberboard panels laminated with thermally compressed veneer. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 110–114. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2011.11.040>
- Büyüksarı, Ü. (2012). Physical and mechanical properties of particleboard laminated with thermally compressed veneer. *BioResources*, 7(1), 1084–1091.
- Cahyono, T. D., Yanti, H., Anisah, L. N., Massijaya, M. Y. and Iswanto, A. H. (2020). Linear Expansion and Durability of a Composite Boards (MDF Laminated Using Three Selected Wood Veneers) against Drywood Termites. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48(6), 907–916. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.6.907>
- Dziurka, D. and Doniesienia, R. (2013). Lightweight boards from wood and rape straw particles. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 56(190), 19–31. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.051.02>
- Eroğlu, H. and Usta, M. (2000). *Lif levha üretim teknolojisi*, 351s, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Genel Yayın No: 200, Fakülte Yayın No: 30, Trabzon. In dergipark.org.tr (2000th ed., Issue 1). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi.
- Göker, Y., Kantay, R. and Kurtoğlu, A. (1984). Researches on the technological features of three layered and okal type particleboards. In academia.edu. Istanbul University Faculty of Forestry.
- Gözalın, M. (2016). Yonga levhalarda parafın kullanım miktarının optimizasyonu üzerine araştırmalar (Master's thesis). Bartın University.

- Güler, C., Karademir, A. and Işık, H. (2015). Yongalevhelerde alkil keten dimer'in alternatif hidrofobik madde olarak kullanımı ve etkisi. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 14(2), 163–170.
- Hoag, M. (1993). Particleboard and medium density fibreboard: surface-testing substrates for laminating applications. *European Plastic Laminates Forum, Germany*, 33–40.
- Hwang, G. S., Wang, E. I. C. and Su, Y. C. (2006). Preparation of composite board using foil-laminated and plastic-laminated liquid packaging paperboard as raw materials. *Journal of Wood Science*, 52(3), 230–235. <https://doi.org/10.1007/S10086-005-0757-0/METRICS>
- İstek, A., Gözalan, M. and Özlüsoylu, İ. (2017). Yonga levha özelliklerine yüzey kaplama veya boyama işlemlerinin etkisi. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(4), 619–629. <https://doi.org/10.17475/kastorman.180279>
- İstek, A., Özlüsoylu, İ. and Gözalan, M. (2017). Yonga levha özelliklerine yüzey kaplama veya boyama işlemlerinin etkisi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(4), 619–629. <https://doi.org/10.17475/kastorman.180279>
- Ibrisevic, A., Obucina, M. and Hajdarevic, S. (2019). Effect of Particleboard Coating on Flexural Strength and Modulus of Elasticity. In *Proceedings of the 30th International DAAAM Symposium*, 892–0896. <https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.124>
- Istek, A., Aydemir, D. and Aksu, S. (2010). The effect of decor paper and resin type on the physical, mechanical, and surface quality properties of particleboards coated with impregnated decor papers. *BioResources*, 5(2), 1074–1083.
- Kalaycıoğlu, H. (1997). OSB Levhaları (Yönlendirilmiş Yongalevhalar). Faculty of Forestry, *Spring Term Seminar Serial*, 120–125.
- Kara, M., İstek, A. and Esgin, E. (2014). The effect of lamination conditions on surface characteristics of particleboard. *3rd International Non-Wood Forest Products Symposium*, 1031–1037.
- Karabulut, A. (2022). Yer Fıstığı Kabuğundan Yanmaz, Su Tutmaz Polimerik Kompozit Yonga Levha Üretimi. *Politeknik Dergisi*, 25(2), 685–689. <https://doi.org/10.2339/POLITEKNIK.845419>
- Kartal, S. (2001). Wettability, water absorption and thickness swelling of particleboard made from remediated CCA-treated wood. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 51(1), 53–62.
- Kim, K., Kim, S., Kim, H. and Park, J. (2010). Formaldehyde and TVOC emission behaviors according to finishing treatment with surface materials using 20 L chamber and FLEC. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 90-94., 177(1–3), 90–94.
- Kılıç, İ. (2006). Determining the adhesion strength of veneer on some wood-based boards (Master's thesis). Gazi University.
- Muğla, K., İstek, A. and Yazıcı, H. (2014). MDF levhalarda farklı kaplamaların yüzey kalite özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. *1. Ulusal Meslek Yüksekokulları Sosyal ve Teknik Bilimler Kongresi (MESTEK)*, 464–469.
- Nemli, G. and Çolakoğlu, G. (2005). The influence of lamination technique on the properties of particleboard. *Building and Environment*, 40(1), 83–87. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.05.007>
- Nemli, G. and Demirel, S. (2007). Relationship between the density profile and the technological properties of the particleboard composite. *Journal of Composite Materials*, 41(15), 1793–1802. <https://doi.org/10.1177/0021998307069892>
- Nemli, G., Demirel, S. and Zeković, E. (2006). Yonga rutubeti, parafin kullanımı ve ağaç cinsinin yongalevhanın bazı teknolojik özellikleri üzerine etkileri. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 7(2), 81–93.
- Nemli, G., Gezer, E. D. and Hiziroğlu, S. (2003). The changes in important quality properties of continuous pressed laminates (CPL) with some changes in thickness and press parameters. *Building and Environment*, 38(7), 913–917. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(03\)00030-1](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(03)00030-1)
- Nemli, G., Örs, Y. and Kalaycıoğlu, H. (2005). The choosing of suitable decorative surface coating material types for interior end use applications of particleboard. *Construction and Building Materials*, 19(4), 307–312. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2004.07.015>
- Özkan, E., Arpacı, Ş. S. and Tomak, D. (2020). Atık yağ ile emprenye işleminin ahşap malzemenin fiziksel özelliklerine etkisi. *Ağaç ve Orman*, 1(1), 36–41.
- Park, B. D., Kang, E. C., Lee, S. M. and Park, J. Y. (2016). Formaldehyde Emission of Wood-Based Composite Panels with Different Surface Lamination Materials Using Desiccator Method. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 44(4), 600–606.
- Park, J. Y., Lee, S. M., Park, B. D., Lim, J. Y., Jang, S. G. and Kim, S. (2013). Effect of surface laminate type on the emission of volatile organic compounds from wood-based composite panels. *Journal of Adhesion*

- Science and Technology*, 27(5–6), 620–631.
- Roffael, E., Dix, B. and Okum, J. (2000). Use of spruce tannin as a binder in particleboards and medium density fiberboards (MDF). *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 58(5), 301-305.
- Rowell, R., Imamura, Y., Kawai, S. and Norimoto, M. (1989). Dimensional stability, decay resistance, and mechanical properties of veneer-faced low-density particleboards made from acetylated wood. *Wood and Fiber Science*, 21(1), 67–79.
- Schwarz, F. E., Andersen, R. L. and Kageler, A. G. (1968). Resin distribution and how variations affect board quality. *Proceedings of the Second Particleboard Symposium*, 7–29.
- Shishlov, O. F., Baulina, N. S., Glukhikh, V. v., O. S. El'tsov, Shafran, Y. M., Buryndin, V. G. and Stoyanov, O. v. (2021). Synthesis of Cardanol-Containing Resols for Producing Phenolic Films: Protective Coatings for Wood Composites. *Polymer Science-Series D*, 14(3), 328–334.
- Sparkes, T. (1993). Substrate selection for end use applications. *European Plastic Laminates Forum*, 27–31.
- Sun, X., Shao, K. and Wang, T. (2016). Detection of volatile organic compounds (VOCs) from exhaled breath as noninvasive methods for cancer diagnosis. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408, 2759-2780.
- TS 4894. Wood based panels- Determination of formaldehyde content- Extraction method called the perforator method, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 1999.
- TS EN 310. Wood-based panels- Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 1999.
- TS EN 317. Particleboards and fiberboards- Determination of swelling in thickness after immersion in water, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 2005.
- TS EN 319. Particleboards and fiberboards-Determination of internal bonding strength, Turkish Standards, Ankara-Turkey, 1999.
- TS EN 322. Ahşap esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 1999.
- TS EN 323. Wood- Based panels- Determination of density, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 1999.
- TS EN 325. Wood-based panels- Determination of dimensions of test pieces, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 2012.
- TS EN 326. Wood-based panels- Sampling, cutting and inspection-sampling test pieces and expression of test results, Turkish Standards Institute, Ankara-Turkey, 1999.
- Ulker, O. C., Ulker, O. and Hiziroglu, S. (2021). Volatile Organic Compounds (VOCs) Emitted from Coated Furniture Units. *Coatings*, 11(7), 806.
- Vansteenkiste, R. (1981). Surface treatment of wood based panels. *Seminar on Wood Based Panels and Furniture Industries*.
- Wong, E. D., Zhang, M., Wang, Q. and Kawai, S. (1999). Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. *Wood Science and Technology*, 33(4), 327–340.
- Zhang, J. and Smith, K. R. (2003). Indoor air pollution: A global health concern. *British Medical Bulletin*, 68(1), 209–225.

Properties of Experimental Panels Made from Mixture of Dolomite and Olivine with Calabrian pine Wood Particles. Part 1. Physical properties

Halil Turgut SAHİN^{1*}, Ömer Ümit YALÇIN², Ali İhsan KAYA³, Ugur ÖZKAN⁴

1,2,4 Isparta Uygulamalı Bilimler University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, Isparta, Türkiye
3 Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Design, Burdur, Türkiye

Article History

Received: 22.01.2023

Accepted: 05.07.2023

Published: 15.08.2023

Research Article



Abstract – The effects of two mineral adducts (dolomite and olivine) as proportion in Calabrian pine wood chip based-experimental panels which bonded with synthetic adhesive (UF) were evaluated. It appears both minerals (P: calabrian pine wood chip-, X: Dolomite- Y: Olivine in composite proportions) improve the water repellent efficiency (WRE) properties at certain extent. In all experimental procedure, WRE increased with dolomite and olivine proportions higher than >10% in board formulations. The highest WRE of -34.2% and -35.4% were found with PX5 and PY5 samples that made with 1:1 (w/w) dolomite/wood and olivine/wood formulations, respectively. Like water sorption, similar trend was also found for thickness swelling (TS) properties. The lower TS values were found to be in range of -11.2 to -56.4% for dolomite-, and -55.5 to -69.5% for olivine based panels, respectively. Only samples of PX1, which produced 1:9 dolomite/wood chips (w,w, %) proportions, show higher IB value than control (PX0: 0.87 MPa vs PX1: 0.99 MPa) while rest of dolomite- pine wood panels show lower IB values. In contrast to dolomite, olivine appear to be improving effects on IB properties at certain conditions. The highest IB value of 1.21 MPa was found with sample PY4, which produced 4:6 olivine/wood chips (w,w, %) proportions, indicate approximately 39.1% higher IB value than control. It is notable that olivine seems to more effective than dolomite at similar board preparation formulations in terms of lowering TS, WA and creating higher internal bond strength properties than dolomite based panels at similar experimental conditions. However, only sample of PY1, made with 1:9 (w, w,%) olivine/wood and proportions, show higher bending strength (13.27 MPa) and elasticity (2468.2 MPa than control (PY0:12.75 MPa vs 2245.2 MPa).

Keywords – Dolomite, olivine, particleboard, calabrian pine, strength properties, internal bond, modulus of rupture

Dolomit ve Olivin ile Kızılçam Odun Yonga Karışımından Üretilen Deneme Levhalarının Özellikleri. Bölüm 1. Fiziksel Özellikler

^{1,2,4} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Burdur, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 22.01.2023


Kabul: 05.07.2023


Yayın: 15.08.2023


Araştırma Makalesi


Öz – Çalışmada, kızılçam odun yongalarından sentetik tutkal (üre-formaldehit) kullanılarak hazırlanan deneme levhalarına, farklı oranlarda iki mineral madde ilavesinin etkisi araştırılmıştır (Kompozit içeriğinde; P: Çam odun yongası, X: Dolomite Y: Olivine olduğunu belirtir). Mineral ilavesinin, levhaların su itici özelliklerini belli derecede iyileştirdiği belirlenmiştir. Tüm deneme şartlarında, %10 ve daha fazla dolomit ve olivin ilave edilmiş levhaların su itici özellikleri yükselmiştir. En yüksek su itici özellik iyileştirme; 1:1 (ağırlık/ağırlık) dolomit/odun ve olivin/odun ile formüle edilmiş PX₅ ve PY₅ örneklerinde %34.2% ve %35.4 olarak elde edilmiştir. Su absorpsiyonuna benzer eğilim, örneklerin kalınlık artım özelliklerinde de gözlemlenmiştir. En yüksek kalınlığına artım iyileşmesi % -11.2 ile -56.4% dolomit ileve edilmiş levhalarda, %55.5 ile -69.5% olivin ilave edilmiş levhalarda bulunmuştur. Sadece 1:9 dolomit/odun yongası karışımından (ağırlık/ağırlık, %) üretilmiş PX₁ deneme numunesinde, kontrol örneklerinden (PX₀: 0.87 MPa; PX₁: 0.99 MPa) daha yüksek yüzeye dik çekme direncine (IB) ulaşılmış, diğer tüm levhaların yüzeye dik çekme dirençleri, kontrollerden daha düşük bulunmuştur. Dolomitten farklı olarak, olivin ilavesinin levhaların yüzeye dik çekme direncine bazı şartlarda olumlu katkı sağladığı anlaşılmıştır. Olivin ilaveli levhalarda, en yüksek yüzeye dik çekme direnci, 1.21 MPa olarak 4:6 olivin/odun yongası (ağırlık, ağırlık, %) oranıyla üretilmiş PY₄ örneğinde hesaplanmış ve bu değer, kontrol örneğinden yaklaşık %39.1 daha yüksek bulunmuştur. Olivin, dolomite göre benzer odun-mineral madde formülasyonlarında su içinde kalınlık artımı ve su absorpsiyonuna karşı daha etkili olduğu ve daha yüksek yüzeye dik çekme direnç sağladığı gözlemlenmiştir. Sadece 1:9 (ağırlık, ağırlık, %) olivin/odun karışımı ile üretilmiş PY₁ deneme levhası kontrol örneğinden daha yüksek eğilme direnci (13.27 MPa) ve elastiklik (2468.2 MPa) göstermiştir (PY₀:12.75 MPa ve 2245.2 MPa).

Anahtar Kelimeler – Dolomit, olivin, yongalevha, kızılçam, direnç özellikleri, yüzeye dik çekme direnci, eğilme direnci

¹  halilsahin@isparta.edu.tr

²  omeryalcin@isparta.edu.tr

³  aikaya@maku.edu.tr

³  ugurozkan@isparta.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Introduction

Because of higher weight-to-strength ratio, easy to process and cheaper than many synthetic sources, wood is still the leading raw material for making engineeringly design composite materials in worldwide. In particular, coniferous trees are usually preferred because their morphological characteristics are more suitable and adequate in terms of production of high strength of products (Bergland and Rowell, 2005; FPL, 2010; McKeever, 1997). However, a wide variety of production variables determine the physical and mechanical properties of those materials. Among them, wood/binder ratio, density, particle geometry, wood type and chemical composition have already reported to be primary importance (Yalcin, 2018; Vasiliev and Morozov, 2001). Typically, 90-92% of the weight of that products are lignocellulosic matter, while the rest consists of adhesive (6-8%) and other functional additives (1-2%) (Vasiliev and Morozov 2001; Bergland and Rowell 2005; Yalçın *et al.*, 2019; Sahin and Simsek 2021). It has well presented by various comprehensive studies that strength of those affected by the percentage of matter replacement as adducts, alone and/or with their fractions.

Mining industries generate million tons of waste annually while these materials occupy large parts of landfills and causing environmental pollutions worldwide. However, lack of space in dense population cities creates the problem of incipient landfills, disposal of wastes, and various pollutions like air, water, and soil. Therefore, finding a solution or utilization of those are an emerging issue for environmental and economical purposes. It has already proposed that olivine and dolomite are widely available pozzolanic minerals with the ability to improve some properties of materials (Yalcin, 2018; Yalçın *et al.*, 2019 and 2020). Chemical properties of dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], a rock-forming mineral, is primarily composed of calcium oxide, silica, magnesium oxide, and small amounts of aluminum oxide and iron oxide (Yalcin, 2018). Olivine is also a rock-forming mineral consisting of magnesium iron silicate [$(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$]. The relative density of dolomite and olivine are varying from 2.65 to 2.85 gr/cm^3 depending upon the source of the stones (Yalcin, 2018).

Recent studies on investigating the effectiveness of using olivine as a adduct have demonstrated improvement in fundamental soil properties such as compressive strength, permeability characteristics, and swelling properties (Emmanuel *et al.*, 2020). However, several researchers investigated the some properties of biocomposites consists of dolomite and olivine as mineral additive with natural sources (Yalçın *et al.*, 2019 and 2020; Özdemir, 2016; Özdemir *et al.*, 2016). It was reported that the addition of dolomite as filler to the structure of HDF boards that produced from beech-pine fibers, clearly effects some physical and mechanical properties of water absorption, thickness swelling, modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE) and surface roughness lowered in some level while the fire resistance properties increased (Özdemir 2016; Özdemir *et al.*, 2016). It has reported that both olivine and dolomite as adduct in biocomposite formulations with mixture of eggplant- and tomato stalk chips could be feasible and improve some properties (Yalçın *et al.*, 2020). But limited studies have attempted to prepare bio-composites using olivine and dolomite by employing an experimental approach. However, the proper combinations for optimum improvement in the strength property of the lignocellulosics using olivine and dolomite prepared with mixture is not clear. In this regard, the current study aimed at applying in experimental approach the contents of olivine and dolomite mixed with calabrian pine to improve the strength property of composite materials.

2. Material and Methods

Calabrian pine (*Pinus brutia*) wood chips (approx. 2.0 cm) and urea-formaldehyde adhesive were supplied from a commercially operate a particleboard plant, in Isparta province, Türkiye. The minerals of olivine and dolomite materials were collected from Isparta-Aksu mining sites in Türkiye. The wood chips dried in the oven at 105 °C (± 3) until they reached 3.0% moisture content. The 65% urea-formaldehyde adhesive and 20% ammonium chloride hardener were used in the production of the experimental boards. The glue and hardener ratio were constant in all conditions, at 10% and 1% (w/w), relative ratio, respectively. Metal mold plates with the dimensions of 40 cm x 40 cm x 10 mm was used to made experimental panels. The specially prepared board paste was pressed for 5-10 minutes under 3.0-5.0 N/mm^2 at 130-160 °C with laboratory type electrically heated hot-press. The experimental panels were kept between metal plates after the end of pressing process

and then climatized. The target densities of the manufactured boards were $0.9 \text{ gr/cm}^{-3} (\pm 0.1)$; a total of 24 boards (two from each condition) were made. The panels were conditioned at $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 65% relative humidity and samples were cut to determine the IB (Internal Bond), MOE and MOR (Modulus of Elasticity and Rupture), in accordance with TS EN 310 (1999), TS EN 319 (1999) and TS EN 317 (1999) standards, respectively. The small samples were soaked in distilled water for 24 hours. Water absorption and water repellent efficiency were calculated according to Eq.1 and Eq. 2 given below.

$$\text{Water absorption, WA (\%): } [(W2 - W1) / W1] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Water repellent efficiency, WRE (\%): } [(Wu - Wt) / Wu] * 100 \quad (2)$$

Where, $W1$: initial weight of the sample before water soaking, $W2$: weight of the sample after water soaking, Wu : water absorption of control sample, Wt : water absorption of mineral adducts containing sample.

A general linear model procedure (ANOVA) was employed for data to interpret interaction of the panels manufactured. Duncan test was used to make comparison among board types for each property tested if the ANOVA found significant.

Many combinations were tested, some code number and abbreviations were established throughout the study given in Figures and Tables. These are; P: Calabrian pine wood chips in composite proportions, X: Dolomite in composite proportions, Y: Olivine in composite proportions, X-/Y- 0, 1, 2, 3, 4, 5: Dolomite and olivine fractions (w, w, %) of 0-, 10-, 20-, 30-, 40- and 50%, respectively.

3. Results and Discussion

The water sorption (WA) behavior of a lignocellulosic material is closely related to equilibrium moisture content (EMC) (Cai et al., 2017). It has proposed that water sorption is one of a pivotal marker of the matrix system as it reflects chemical and structural properties of composite system (Paës et al., 2019). However, in a hydrophobic/hydrophilic mixture system, it could be revealed how each proportions (mineral and lignocellulosic adducts) influence sorption properties. The water absorption properties of experimental boards are comparatively given in Table 1. The only sample of PX_1 show higher sorption value than control (PX_0 : 83.40% vs PX_1 : 87.46%), which could be negligible at the time scale of our experiments. All other experimental boards show -4.8 to -35.4% lower sorption properties for dolomite-based experimental boards and -2.9 to -38.1% lower sorption properties for olivine-based experimental boards. The experimental results reveal a previously unknown role of minerals of dolomite and olivine in water-sorption resistance, which is by means of sealing of hygroscopic wood particles. It could be hypothesized that olivine and dolomite addition could be inherited with the reduction in water sorption while those could be improved the barrier properties of polymer matrix because of creation of tortuous paths for penetrant water molecules (Karumuri et al., 2017).

Table 1

Water Sorption (WA, %) properties of experimental panels

Board Code	WA (24 h)	Differences (%) from control
Dolomite-based panels		
PX_0	83.40 ^b	-
PX_1	84.76 ^b	1.6
PX_2	63.25 ^a	-4.8
PX_3	64.06 ^a	-23.2
PX_4	61.71 ^a	-26.1
PX_5	53.91 ^a	-35.4
Olivine-based panels		
PY_0	83.40 ^c	-
PY_1	81.01 ^{bc}	-2.9
PY_2	70.39 ^b	-15.6
PY_3	53.61 ^a	-35.7
PY_4	56.02 ^a	-32.8
PY_5	51.63 ^a	-38.1

* Values sharing the same capital letter (s) within a column are not statistically different at the 0.05 level of confidence.

The marked effect of mineral adducts on water repellent efficiency (WRE, %) of experimental boards are clearly evident in Figure 1. It could be seen that similar trend was found with dolomite and olivine which increasing mineral adducts in board formulations (>10%) very effective for creating resistance against water. The highest WRE of -34.2% and -35.4% were found with PX₅ and PY₅ samples that made with 1:1 (w/w) dolomite/wood and olivine/wood proportions, respectively. The wood particles have a high tendency to hold water due to capillary forces (surface tension) as well as undergo volumetric expansion (swelling), an effect known as imbibition (Karumuri et al., 2017). However, the WRE properties appear to well correlated with adduct proportions, where the polymer relaxation and diffusion may conduct together. These comparisons between the board formulations and the measured results reveal the WRE of experimental panels can be predicted quite well by adducts proportions.

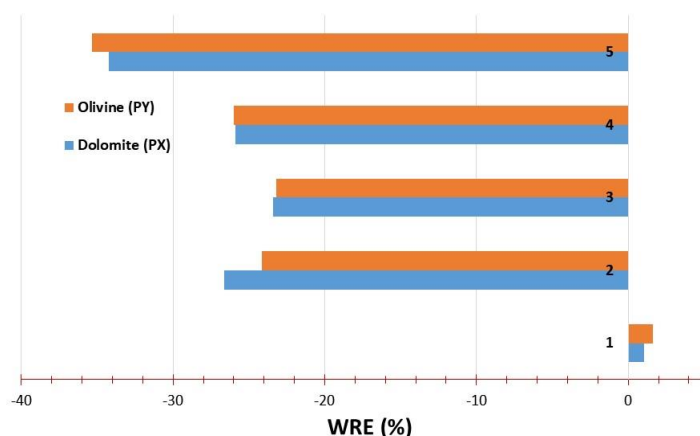


Figure 1. Water Repellent Efficiency (%) of experimental boards

Table 2 shows the thickness swelling properties in water (24 h) for experimental panels. Similar trend was also found that only sample of PX₁ show higher TS value than control (PX₀: 26.01% vs PX₁: 29.53%) while rest of samples show lower TS values than control, regardless of mineral type and experimental conditions. It was calculated to be -11.2 to -56.4% lower TS values for dolomite-based panels and -55.5 to -69.5% for olivine-based panels, respectively. However, the lowest swelling value of 11.33% was found with sample PX₅ for dolomite-based panels and 7.93% was found with sample PY₅ for olivine-based panels, respectively. It is important to note that increasing dolomite and olivine in boards formulations have lowering effects on TS values while it seems to olivine more effective than dolomite at similar formulations. This could be attributed to the less interaction between wood and water.

Table 2

The Thickness swelling (24 h, %) properties of experimental panels

Board Code	TS (24 h)	Differences (%) from control
Dolomite-based panels		
AX ₀	26.01 ^a	-
AX ₁	29.53 ^a	13.5
AX ₂	23.09 ^a	-11.2
AX ₃	16.83 ^a	-35.3
AX ₄	13.43 ^a	-48.4
AX ₅	11.33 ^a	-56.4
Olivine-based panels		
AY ₀	26.01 ^c	-
AY ₁	24.57 ^c	-5.5
AY ₂	18.47 ^{bc}	-28.9
AY ₃	18.40 ^{bc}	-29.3
AY ₄	11.56 ^{ab}	-55.6
AY ₅	7.93 ^a	-69.5

* Values sharing the same capital letter (s) within a column are not statistically different at the 0.05 level of confidence.

Thickness swelling of composite materials are very sensitive to matrix structures and this must be taken into account for the measurements. However, 2h and 24h TS values (%) have shown similar trend while it appears

a positive relationship with both adducts for experimental boards (Fig.2). These results could be expected considering lowering WA (Table 1), WRE (Fig.1) and TS (Table 2 and Fig.2) which is well correlated with adduct concentrations. Moreover, at certain conditions, it was reported by sahin et al., (2022) that both dolomite- and olivine adducts to biomass in matrix system could be lowering effects on water sorption and thickness swelling of boards (Sahin et al., 2022). The result found in this study is also in good agreement with the results reported on dolomite- and olivine- based biocomposites (Yalcin, 2018).

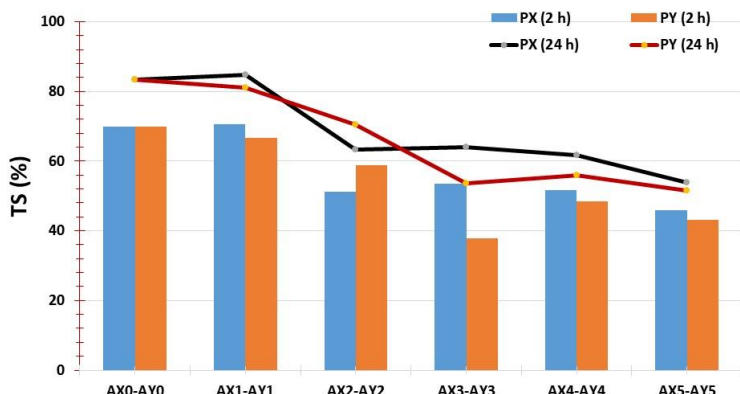


Figure 2. Thickness swelling (%) of experimental boards

Table 3 show internal bond (IB) properties of experimental panels, comparatively. However, only samples of PX₁ in dolomite-Calabrian pine panels show higher IB value than control (PX₀: 0.87 MPa vs PX₁: 0.99 MPa) while rest of dolomit-calabrian pine wood panels show lower IB values. The lowest IB value of 0.45 MPa was found with sample of PX₅ which prepared with 1:1 dolomite/calabrian pine wood chip proportions, followed by PX₄ (0.49 MPa), PX₃ (0.51 MPa) and PX₂ (0.76 MPa). These are approximately -48.2-, -43.5-, -41.4-, and -12.6% lower than control sample, respectively. It is clear increasing dolomite (> 10%) in panel formulations lowering effects on IB properties of panels.

In contrast to dolomite, olivine seems to improve on IB properties at certain conditions. The samples of PY₁ and PY₅ show -6.9-, and -4.6% lower IB values while samples of PY₁, PY₃ and PY₄ show 10.3-, 25.3- and 39.1% higher IB values than control. It is notable that olivine-based panels show higher internal bond strength values than dolomite-based panels at similar experimental conditions.

Table 3

The internal bond (IB) strength properties of experimental panels

Board Code	IB (MPa)	Differences (%) from control
Dolomite based panels		
PX ₀	0.87 ^b	-
PX ₁	0.99 ^b	13.8
PX ₂	0.76 ^b	-12.6
PX ₃	0.51 ^a	-41.4
PX ₄	0.49 ^a	-43.5
PX ₅	0.45 ^a	-48.2
Olivine based panels		
PY ₀	0.87 ^{ab}	-
PY ₁	0.96 ^{ab}	10.3
PY ₂	0.81 ^a	-6.9
PY ₃	1.09 ^{bc}	25.3
PY ₄	1.21 ^c	39.1
PY ₅	0.83 ^{ab}	-4.6

* Values sharing the same capital letter (s) within a column are not statistically different at the 0.05 level of confidence.

The bending strength properties of experimental panels are comparatively given in Table 4. For dolomite-based panels, all experimental panels show -12.1% to -61.6% lower bending strength properties than control (PX₀: 12.75 MPa). However, the lowest MOR value of 4.89 MPa was found with sample of PX₅ which prepared with equal proportions of wood chips and dolomite (1:1, w/w). It is clear that increasing dolomite in board proportions lowering effects on bending strength of panels. For olivine-based panels, only sample of PY₁ which

produced 10% olivine and 90% wood chips (w/w) proportions, show higher MOR value (13.27 MPa) than control. Similar to dolomite-based panels, it appears to increasing olivine (> 10%) in board proportions have negative impact on MOR properties of boards. The lowest MOR value of 5.16 MPa was found with sample of PY₅, followed by 6.71 MPa with sample of PY₄, 8.71 MPa with sample of PY₃, and 9.63 MPa with sample of PY₂. These values are about -59.5-, -47.4-, -31.5-, and -24.5% lower than control sample, respectively.

When the Tables 3 and 4 carefully overviewed, the experimental findings confirm the lowering of the strength with two mineral adduct fractions to Calabrian pine wood chips in matrix structure. However, the strength development of the panels could be possible with formation of matrix together. The lowering of the strength may also be due to the less interlocking force constituted by a spatial network of the distributed hydrophilic wood and hydrophobic mineral adducts in the matrix, which negative impact on bonding and frictions, thus, preventing the displacement of the matrix system (Vasiliev and Morozov 2001). It is hypothesized that wood chip inclusion may also lead to the reduction of potential failure plane, reduction in ductility, cohesion, energy absorption capacity, and impact resistance of the composite.

Table 4

The bending strength (MOR) properties of experimental panels

Board Code	MOR (MPa)	Differences (%) from control
Dolomite based panels		
PX ₀	12.75 ^e	-
PX ₁	11.21 ^d	-12.1
PX ₂	10.56 ^d	-17.2
PX ₃	8.18 ^c	-35.8
PX ₄	6.41 ^b	-49.7
PX ₅	4.89 ^a	-61.6
Olivine based panels		
PY ₀	12.75 ^d	-
PY ₁	13.27 ^d	4.1
PY ₂	9.63 ^c	-24.5
PY ₃	8.71 ^c	-31.7
PY ₄	6.71 ^b	-47.4
PY ₅	5.16 ^a	-59.5

* Values sharing the same capital letter (s) within a column are not statistically different at the 0.05 level of confidence.

The elasticity properties (MOE) of experimental panels are comparatively given in Table 5. Only sample of PY₁ show 9.7% higher elasticity (2462.8 MPa) than control (PX₀; 2245.2 MPa) while rest of samples show lower MOE values than control, regardless of preparation conditions and type of mineral in formulations. The lowest MOE's of 731.8 MPa and 585.8 MPa were found with samples of PX₅ in dolomite based-, and PY₅ in olivine-based experimental panels, respectively. It appear that increasing dolomite and olivine (> 10%) in formulations negative impact on elasticity properties of panels.

The elasticity properties in the material upon the addition of olivine and dolomite can be hypothesized as follows; the mineral adducts could be attributed to the interface between wood chips, such interaction results in agglomeration and flocculation of the particles, making them coarser, brittle, and less plastic, hence facilitating frictional resistance of the matrix.

All the three measured strength values for olivine and dolomite formulated experimental panels are plotted in Figure 3. For IB properties (Fig. 3A), olivine had improving effects on PY₁, PY₃ and PY₄ panels. The highest IB values of 1.21 MPa observed with PY₄ panel which is the highest among all panels. However, dolomite-based panels usually had a lower IB values in all experimental conditions compared to olivine--based panels. It is notable that both MOR and MOE values (Fig. 3B and C) have show similar plot shape which both adducts have negative impact on the MOR and MOE properties of experimental boards.

Table 5

The Elasticity (MOE) properties of experimental panels

Board Code	MOE (MPa)	Differences (%) from control
Dolomite based panels		
PX ₀	2245.2 ^b	-
PX ₁	1760.1 ^a	-21.6
PX ₂	1429.9 ^a	-36.3
PX ₃	1099.8 ^a	-51.1
PX ₄	1025.6 ^a	-54.3
PX ₅	731.8 ^a	-67.4
Olivine based panels		
PY ₀	2245.2 ^c	-
PY ₁	2462.8 ^b	9.7
PY ₂	1271.2 ^{ab}	-43.4
PY ₃	1026.9 ^{ab}	-54.3
PY ₄	926.6 ^{ab}	-58.7
PY ₅	585.8 ^a	-73.9

* Values sharing the same capital letter (s) within a column are not statistically different at the 0.05 level of confidence.

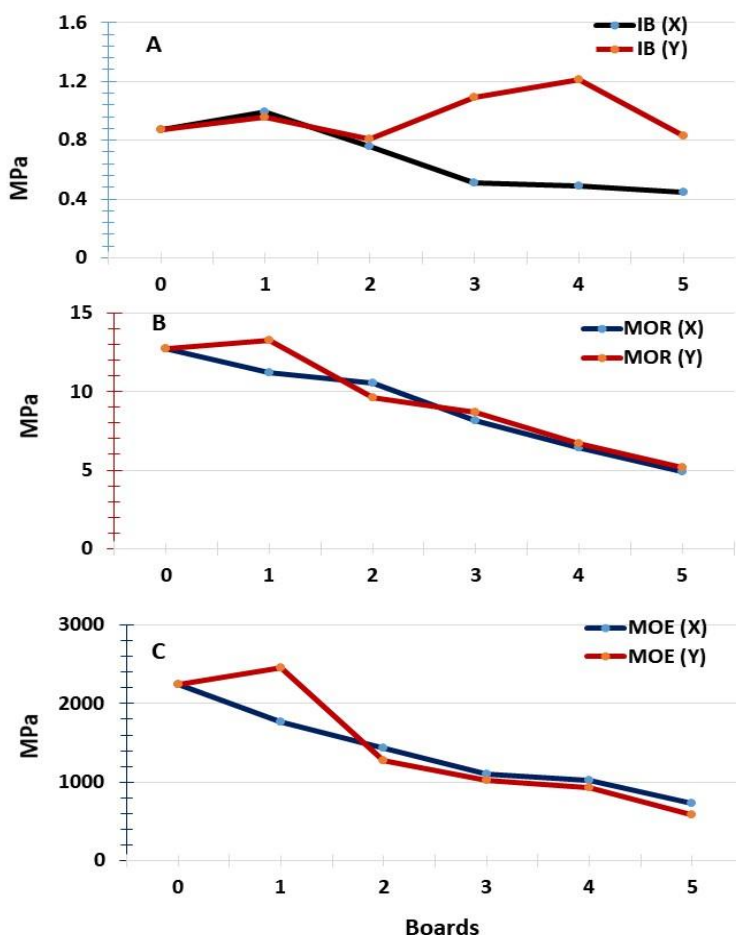


Figure 3. Strength properties of experimental boards

4. Conclusion

Natural mineral matters are receiving increased attention due to environmental protection and property development issues. However, there is a potential to utilize certain minerals renewable sources together in composite manufacturing due to their low cost, non-abrasive natures, and the abundant availability in

worldwide. The experimental findings obtained from this study could be divided into two parts. The first part considers the water interactions of composite panels and the second evaluates the effects two mineral adducts on strength properties. The strength development of composite materials are very complex and include some phenomenal results. However, these property changes are measurable evidence of impart hydrophobic properties. Moreover, the results found for strength properties of experimental panels may be useful for similar studies while it is possible to improve some strength properties of experimental panels at certain conditions. There are numerous literature reports on wood-adducts interaction effects on composite properties. Further study is needed to study for mineral-wood interactions in matrix system.

Conflict of interest

The authors declare that they have received no funds and there is no conflict of interest.

References

- Bergland, L. & Rowell, R.M. (2005). Wood composites, Ch.10, In: Handbook of wood chemistry and wood composites, Roger M. Rowell (Ed), CRC Press, New York, pp.279-302.
- Cai, J., He, Y., Yu, X., Banks, S. W., Yang, Y., Zhang, X., ... & Bridgwater, A. V. (2017). Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 76, 309-322.
- Emmanuel, E., Yong, L. L., Asadi, A., & Anggraini, V. (2020). Full-factorial two-level design in optimizing the contents of olivine and coir fiber for improving the strength property of a soft marine clay. *Journal of Natural Fibers*, 1-16.
- Forest Products Laboratory (2010). Wood Handbook-Wood as an engineering material, *General Technical Report FPL-GTR-190*, Madison, WI, 508p.
- Karumuri, S., Hiziroglu, S., & Kalkan, A. K. (2017). The distribution and role of nanoclay in lignocellulose-polymer blends. *RSC advances*, 7(31), 19406-19416.
- McKeever, D. B. (1997). Engineered wood products: a response to the changing timber resource. *Pacific Rim Wood Market Report*, 123(5), 15.
- Özdemir, F. (2016). Yüksek yoğunluklu lif levhanın bazı özellikleri üzerine dolomit mineralinin etkisinin araştırılması (Turkish, Abstract is in English). *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi* 19, 93-98.
- Özdemir, F., Tutuş, A., Çiçekler, M. (2016). Effect of dolomite mineral on surface roughness of high density fiberboard (HDF). *In 2nd International Furniture Congress* (pp. 498-501).
- Paës, G., Navarro, D., Benoit, Y., Blanquet, S., Chabbert, B., Chaussepied, B., ... & Berrin, J. G. (2019). Tracking of enzymatic biomass deconstruction by fungal secretomes highlights markers of lignocellulose recalcitrance. *Biotechnology for biofuels*, 12, 1-14.
- Sahin, H. T., Simsek, Y. (2021). Mineral-Bonded Wood Composites: An Alternative Building Materials. *In Engineered Wood Products for Construction*. IntechOpen.
- Sahin, H. T., Yalcin, O. U., & Kaya, A. I. (2022). Properties of boards prepared from mixture of mineral adducts with bark and cone of Calabrian pine (*Pinus brutia*). *Journal of Engineering Research and Reports*, 22(4), 10-18.
- Vasiliev, V. V., Morozov, E. (2001). *Mechanics and Analysis of Composite Materials: Elsevier*.
- Yalcin, O.U. (2018). Investigation of performance properties of panels produced from some lignocellulosic sources with mineral (dolomite and olivine) additives, (Ph. D thesis; Turkish, abstract is in English), Isparta University of Applied Sciences, The Institute for Graduate Education, Department of Forest Product Engineering, Isparta-Turkey (169p.).
- Yalçın, Ö. Ü., Şahin, H. T., & Kaya, A. İ. (2019). Investigation of some performance properties of panels produced from Red pine Bark and Cone sources with dolomite. *ICONST LST* 2019, 41.
- Yalçın, Ö. Ü., Kaya, A. İ., & Şahin, H. T. (2020) Mineral Based Boards made from Lignocellulosic Wastes: 1st Part-Physical And Mechanical Properties. *MAKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 142-149.

Farklı Biyo Polimerlerden Üretilen Köpük Malzemelerin Termal, Yoğunluk ve Biyolojik Bozunma Özelliklerinin İncelenmesi

Mehmet Emin ERGÜN^{1,2*}, İsmail ÖZLÜSOYLU²

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Akseki Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Ormancılık ve Orman Ürünleri Programı, Antalya, Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 31.03.2023

Kabul: 07.07.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Yalıtım amaçlı kullanılan köpük malzemelerin büyük bir çoğunluğu polistren, poliüretan ve polifenol gibi petrokimya kaynaklı hammaddelerden üretilmektedir. Bu malzemelerin doğal alternatiflerine kıyasla insan ve çevre sağlığı açısından zararlı ve geri dönüştürülebilirliğinin düşük olması gibi sorunlara sahip olduğu bilinmektedir. Bu olumsuz durumu azaltmak amacıyla son yıllarda biyobazlı köpük malzemelerin üretimi ve kullanımı çevre ve insan sağlığı açısından sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle ilgi görmektedir. Bu çalışmada, selüloz ve sitrik asit karışımına farklı biyo polimerlerin (guar sakızı, buğday gluteni ve ksantan sakızı) eklenmesi ile üretilen köpük malzemelerin yoğunluk, termal iletkenlik ve biyolojik bozunma özellikleri incelenmiştir. Köpükler, biyo polimer, selüloz ve sitrik asit karışımını içeren basit ve hızlı bir prosedür ile üretilerek etüvde kurutulmuştur. Çalışmada kullanılan biyo polimere bağlı olarak elde edilen köpük malzeme yoğunluğunun 0,053 g/cm³ ile 0,245 g/cm³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Köpük malzemelerin termal iletkenlik katsayısı, 0,0354 W/mK ile 0,0939 W/mK arasında değişmiş, elde edilen bu değerlerin cam yünü, taş yünü, poliüretan gibi diğer yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılabilir olduğu tespit edilmiştir. Üretilen köpük malzemelerde 30 günlük süre sonunda %40,15 ile %48,45 arasında ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Sonuçlar selüloz ve sitrik asit karışımına farklı biyo polimerler eklenmesi ile üretilen köpük malzemelerin yoğunluk ve termal iletkenlik değerleri üzerinde biyo polimer türünün önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca üretilen bu köpük malzemenin geleneksel köpük malzemelere göre daha çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Biyo polimer, köpük, termal iletkenlik katsayısı, biyolojik bozunma

Investigation of Thermal, Density and Biological Degradation Properties of Foam Materials Produced from Different Biopolymers

¹Alanya Alaaddin Keykubat University, Akseki Vocational School, Department of Forestry, Forestry and Forest Products Program, Antalya, Turkey

²Bartın University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Bartın, Turkey

Article History

Received: 31.03.2023


Accepted: 05.07.2023


Published: 15.08.2023

Research Article

Abstract – The majority of foam materials used for insulation purposes are produced from petrochemical-derived raw materials such as polystyrene, polyurethane, and polyphenol. It is known that these materials have problems such as being harmful to human and environmental health compared to their natural alternatives and having low recyclability. In order to reduce this negative situation, the production and use of bio-based foam materials have attracted attention in recent years due to their positive properties in terms of environmental and human health. In this study, the density, thermal conductivity, and degradation properties of foam materials produced by adding different bio polymers (guar gum, wheat gluten, and xanthan gum) to a mixture of cellulose and citric acid were investigated. The foams were produced by a simple and fast procedure that contained a mixture of bio polymer, cellulose, and citric acid and dried in the oven. Depending on the bio polymer used in the study, the density of the foam material was found to vary between 0,053 g/cm³ and 0,245 g/cm³. The thermal conductivity coefficient of the foam materials ranged from 0,0354 W/mK to 0,0939 W/mK, and it was determined that these values were comparable to other insulation materials such as glass wool, stone wool, and polyurethane. A weight loss of between 40,15% and 48,5% occurred in the produced foam materials after a period of 30 days. The results showed that the type of bio polymer added to the mixture of cellulose and citric acid was important in determining the density and thermal conductivity values of the produced foam materials. Additionally, it is thought that the produced foam material could be a more environmentally friendly and sustainable alternative to traditional foam materials.

Keywords – Bio polymer, foam, thermal conductivity coefficient, biological degradation

¹  mehmet.ergun@alanya.edu.tr

²  iozlusoylu@bartin.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Günümüzde polietilen, polivinil klorür, polistiren, poliüretan, fenol-formaldehit gibi sentetik polimerlerden elde edilen köpük malzemeler, hafif ve düşük maliyetli olmasının yanında geniş hammadde yelpazesi nedeniyle izolasyon, inşaat ve gıda paketlenme gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir malzemenin üretim maliyeti, köpüğe dönüştürülerek kolaylıkla düşürülebilir. Köpük üretimi, köpüksüz ürünlere göre daha az malzeme kullanımı gerektirmekte ve bu da malzemelerin üretim maliyetini etkilemektedir. Köpük teknolojisi, hafif ürünler üretmek amacıyla polimerik malzemelerde gaz boşlukları oluşturmak için kullanılır ve kullanım alanına göre yoğunluğu belirlenebilmektedir (Borkotoky vd., 2018). Dünya çapında polimer köpük pazar büyüklüğü 2021'de 123,1 milyar ABD doları değerinde olup, 2022'den 2030'a kadar yıllık %3,6 oranında artması beklenilmektedir (Ergün, 2023). Bu polimerler petro-kimyasal tabanlı olup fosil enerji kaynaklarında elde edilmektedir. Hem fosil yakıtların gelecekte tükenmesi ihtimali hem de üretilen köpük malzemelerin doğada uzun yıllar boyunca bozunmayarak çevresel kirliliğe yol açmasından dolayı doğada kısa sürede bozulan, geri dönüştürmeye ve sürdürülebilirliğe olanak sağlayan doğal ve yenilenebilir kaynaklardan köpük üretimi önem kazanmıştır (Ergün vd., 2020). Bu kapsamda farklı amaçlar için biyo polimerlerden köpük malzeme üretimi gerçekleştirilmektedir. Poli (ϵ -kaprolakton) (Karimi vd., 2012), polihidroksibutirat (Abdo vd., 2023), nişasta (Yıldırım, 2018), kitosan (Özen vd., 2021; Yıldırım vd., 2022), selüloz (Liao vd., 2022) ve sakızlar (Santacruz-Vázquez vd., 2015) gibi doğal hammaddelerden üretilen ve biyolojik olarak parçalanabilen özellikteki polimerler pazarda kendine yer bulmaya başlamıştır.

Guar sakızı Afrika'da yetişen *Vachellia seyal* ve *Senegalia senegal* türü akasya ağaçlarından ekstrakte edilen çoğunlukla gıda ve yem sanayiinde kıvam artırıcı olarak kullanılan nötr bir polisakkarittir. Ana zinciri, 1, 4-glukozit bağları kullanılarak β -D-mannopiranoz yoluyla oluşturulur. α -D-galaktoz yan zincirleri ana zincire 1,6 glikozit bağı ile bağlıdır ve dallı zincir yapısı çok sayıda polar hidroksil grubuna sahiptir (Mudgil vd., 2014). Ticari olarak fermantasyon işlemi ile üretilen ksantan sakızı, *Xanthomonas campestris* mikroorganizması tarafından salgılanan hücre dışı bir polisakkarittir. (Palaniraj ve Jayaraman, 2011). Ksantan sakızı soğuk suda çözünür ve sıklıkla gıda kozmetik ve eczacılık alanlarında kullanılmaktadır (Katzbauer, 1998). Buğday gluteni, buğday nişastasının üretimi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür. Apolar karakteri, yüksek molekül ağırlığı ve fraksiyonlarının çeşitliliği gibi özelliklere sahiptir. Buğday gluteni kauçuk benzeri mekanik özelliklere sahip olup, mekanik dayanımı yüksek ve kısmen suya karşı dirençlidir (Temiz ve Yeşilsu, 2006). Literatür incelendiğinde buğday gluteni, guar sakızı ve ksantan sakızından köpük malzeme üretimi ile bu biyo polimerlerin termal iletkenlik ve doğada bozunma süreleri hakkında sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada sitrik asit ortamında buğday gluteni, guar sakızı ve ksantan sakızından üretilen köpük malzemelerin yoğunluk ve termal iletkenlik özellikleri ile biyolojik bozunma süreleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Selüloz EUROPAP (İzmir, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Doğu ladininden üretilen selülozun yoğunluğu 0,55 g/cm³'tür. Yoğunluğu 1,65 g/cm³ olan sitrik asit ise Kimetsan Kimya'dan (Ankara, Türkiye) satın alınmıştır. Ksantan sakızı (KS) ve guar sakızının (GS) yoğunlukları sırasıyla 1,48 ve 0,85 g/cm³ olup, sodyum dodesil sülfat (SDS) ile Aromel Kimya'dan (Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Ayrıca 0,75 g/cm³ yoğunluğa sahip buğday gluteni (BG) Makeks Gıda'dan (İstanbul, Türkiye) satın alınmıştır.

2.1. Köpük Malzeme Üretimi

Üretilen köpüğün bileşenleri Tablo 1'de verilmiş olup, ilk olarak selüloz 15 dakika boyunca sitrik asit ile 500 rpm'de karıştırılmıştır. Elde edilen karışma biyo polimer ilave edilerek 1250 rpm'de 45 dakika daha karıştırıldıktan sonra karışıma kabarcık oluşturması için %0,1 oranında SDS ilave edilmiş ve 2500 rpm'de 20

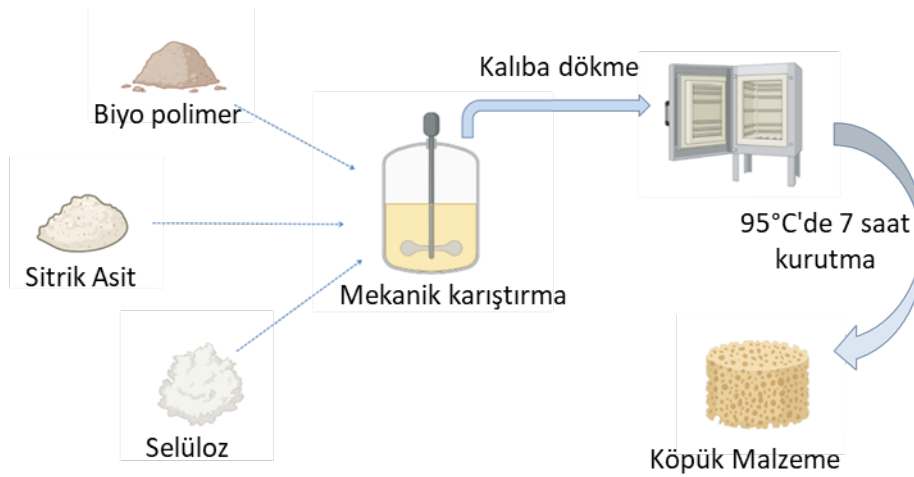
dakika son karıştırma yapılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar dikkate alınarak sitrik asit ve selüloz kullanım oranı %5 olarak belirlenmiştir (Hassan vd., 2020).

Tablo 1

Farklı biyo polimerlerden üretilen köpük malzemelerin içeriği

Kod	Guar Sakız (%)	Buğday Glütenu (%)	Ksantan Sakız (%)	Sitrik Asit (%)	Selüloz (%)	SDS (%)
GS	5	-	-	5	5	0,1
BG	-	5	-	5	5	0,1
KS	-	-	5	5	5	0,1

Hazırlanan sulu süspansiyon bir kalıba dökülmüş ve 95°C'de 7 saat etüvde kurutulmuştur. Köpük malzemenin üretim süreci Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı biyo polimerlerden üretilen köpük malzemelerin üretim süreci

2.2. Üretilen Köpük Malzemenin Karakterizasyonu

Köpük numunelerinin yoğunluğu ASTM C303 (2010) standardına göre belirlenmiştir. Termal iletkenlik katsayıları ise, KEM QTM 500 (Kyoto Electronics, Kyoto, Japonya) cihazı ile ASTM C518'e (2021)'e göre ölçülmüştür. Biyolojik bozunma deneyinde üretilen köpük malzemeler toprağa gömülmüş ve toplamda 30 gün olmak üzere, 10 gün arayla, morfolojileri kontrol edilerek ağırlıkları kayıt altına alınmıştır. % ağırlık kayıpları formül 1'e göre hesaplanmıştır. Köpük malzemelerin görünümü ve ağırlıkları toprağa gömme işleminden önce ve sonra her bir köpük türü için kaydedilmiştir (Liao vd., (2022)).

$$\%m_k = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad (1)$$

%m_k: Geçen süre sonrası köpük malzemedeki meydana gelen yüzde ağırlık kaybı

m₀: Köpük malzemenin toprağa gömülmeden önceki (kontrol grubu) ağırlığı

m₁: Köpük malzemenin toprağa gömüldükten belli bir süre geçtikten sonraki ağırlığı

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada sitrik asit ve selüloz karışımlarına, farklı biyo polimer (GS, BG ve KS) ilavesiyle üretilen köpük malzemelerin yoğunluk, termal iletkenlik değerleri ve bozunma miktarı üzerine biyo polimer türünün etkisi

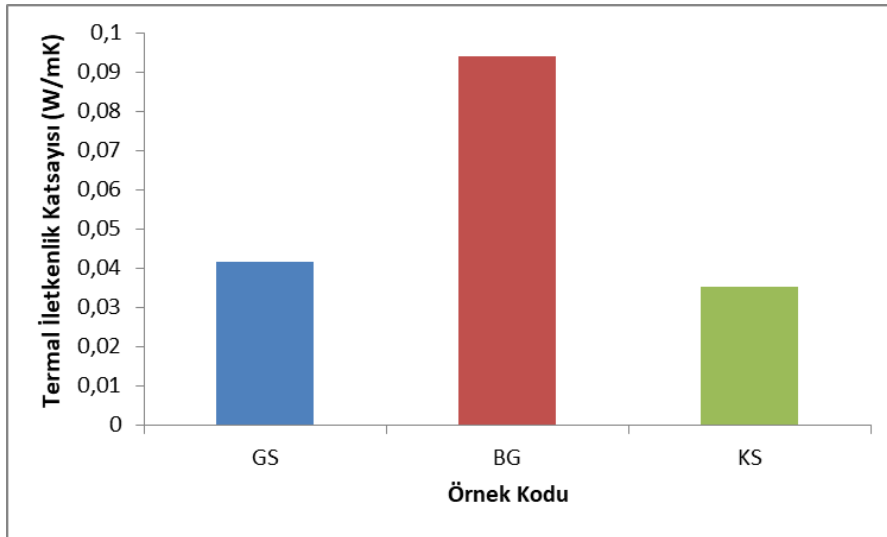
araştırılmıştır. Tablo 2, farklı biyo polimerlerden üretilen köpüklerin yoğunluk ve termal iletkenlik katsayısı değerlerini göstermektedir.

Tablo 2

Üretimi yapılan köpüklerin yoğunluk ve termal iletkenlik değerleri

Kod	Yoğunluk (g/cm ³)	Termal İletkenlik Katsayısı (W/mK)
GS	0,060	0,0416
BG	0,245	0,0939
KS	0,053	0,0354

Üretimde kullanılan biyo polimer yoğunluklarına bağlı olarak köpük malzemelerin yoğunluğu 0,053 g/cm³ ile 0,245 g/cm³ arasında değişen değerler almıştır. Selüloz lifleri arasında çekici kuvvetlerin etkisiyle kümelenme meydana geldiği ve çözücünün uzaklaştırılması sırasında selüloz liflerinin biyo polimerleri birbiri içerisine geçerek daha yoğun köpükler elde edilebildiği belirtilmiştir (Sehaqui vd., 2011). Üretimde kullanılan polimerler arasında yoğunluk üzerine en fazla etkiyi buğday gluteni göstermiştir. Çünkü köpük yapıcı olarak kullanılan SDS sulu süspansiyonu yeterince köpürtememiştir. Bunun bir nedeninin hazırlanan çözeltinin diğer iki çözeltiliye göre viskozitesinin gözle görülür biçimde daha yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sentetik ve biyobozunur köpüklerin yoğunluğu, yalıtım amaçlı uygulamalarda 0,0016 g/cm³ ile 0,96 g/cm³ arasında değiştiği bildirilmiştir (Gautam vd., 2007; Shen vd., 2022). Mevcut çalışmada üretilen köpük malzemelerin yoğunluk değerleri kabul edilebilir aralıktadır. Yapılan farklı bir çalışmada ise kitosan ve selüloz takviyeli köpüklerin yoğunluk değerlerinin 0,088–0,123 g/cm³ arasında değiştiği ifade edilmiştir (Lujan vd., 2022). Selüloz bazlı veya takviyeli köpük üretiminde sıklıkla SDS gibi yüzey aktif maddeler ilave edildiğinde yoğunluk değerlerinde azalma meydana geldiği de vurgulanmıştır (Dehdari vd., 2020). GS, BG ve KS köpük malzemelerin termal iletkenlik katsayısı değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir.















Şekil 2. Farklı biyo polimerlerden üretilen köpük malzemelerin termal iletkenlik değerleri

Üretilen köpüklerin termal iletkenlik katsayıları 0,0354 W/mK ve 0,0939 W/mK arasında bulunmuştur. Ticari olarak sıklıkla kullanılan cam yünü (Al-Homoud, 2005), taş yünü (Kymäläinen ve Sjöberg, 2008), ve poliüretandan (Papadopoulos, 2005) üretilen izolasyon malzemelerinin termal iletkenlikleri 0,020 W/mK ile 0,071 W/mK arasında değişmektedir. Diğer taraftan farklı biyo polimerlerden üretilen köpük malzemelerden odun lifi 0,11-0,285 W/mK, (Wang vd., 2022) nişasta 0,0220-0,0488 W/mK, (Han vd.,2023) selüloz 1,03

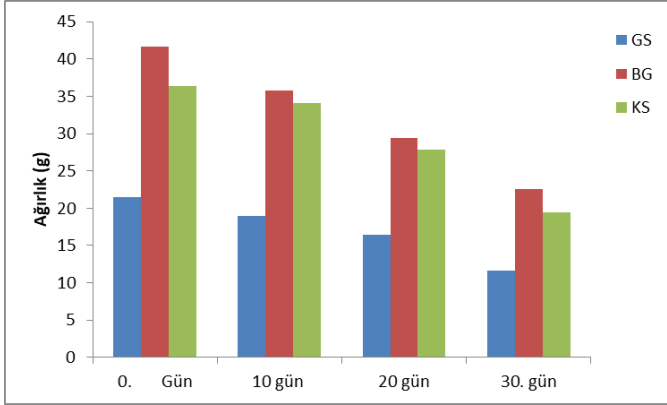
W/mK (Zhao vd., 2022) ve kitosanın 0,035-0,051 W/mK (Ergün, 2023) arasında değişen termal iletkenlik değerleri aldığı ifade edilmektedir. Mevcut çalışmada elde edilen termal iletkenlik katsayıları literatür ile karşılaştırıldığında arzu edilen aralıkta olduğu görülmektedir. Gözenekli bir yapıya sahip olan köpük malzemelerin iyi bir ısı yalıtım özelliği sağladığı belirtilmektedir (Wei vd., 2013). Bu durum köpüklerin gözeneklerini dolduran düşük termal iletkenliğe sahip atmosferik havanın ısı etkisi ile gözenekler ve gözenek duvarlarını dolduran hava katmanlı bir yapı oluşturması ile açıklanmaktadır (Neugebauer vd., 2014). Köpük yoğunluğunun artması ile katı formun termal iletkenliğinin hızlı bir şekilde arttığı bilinmektedir (Simpson vd., 2020). Yapılan bu çalışmada köpüklerinin termal iletkenlikleri, ticari veya önceki çalışmalarda üretilen köpüklerle karşılaştırıldığında ısı yalıtım özelliği açısından orta sınıf olarak kabul edilmiştir (Gupta ve Pinisetty, 2013; Aditya vd., 2017).

Köpüklerin biyolojik olarak bozunabilirliği toprağa gömülerek makroskobik olarak incelenmiş ve ağırlık kayıpları kaydedilmiştir. Farklı biyo polimerlerden üretilen köpük malzemelerin toprağa gömülmeden önceki ve toprağa gömüldükten sonraki 10'ar günlük dönemlerdeki makroskobik görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir.

Kod	0. Gün	10 gün	20 gün	30. gün
GS				
BG				
KS				

Şekil 3. Guar sakızı (GS), buğday gluteni (BG) ve ksantan sakızından üretilen köpüklerin 0. günden 30. güne kadarki aşamalarına ait resimleri

Üretilen köpük malzemeler toprağa gömülmeden önce ve toprağa gömüldükten sonra 10'ar gün aralıklara çıkarılarak makroskobik yapıdaki değişimler gözlemlenmiştir. Şekil 3 incelendiğinde köpük malzemelerin yüzeylerinde bozunma sonucunda gözenekler oluştuğu ve yapısında çatlakların yer aldığı görülmektedir. 30. gün sonunda ise GS ve BG kodlu köpükler parçalanmaya başlamış, diğer taraftan KS kodlu köpüğün yüzeyinde bozunma kaynaklı büyük bir çöküntü meydana geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 4'te üretilen köpük malzemelerin bozunma sonucunda meydana gelen ağırlık değişimleri zamana bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 4. Süreye bağlı olarak üretilen köpüklerin bozunma sonucunda ağırlık değişimleri

Bozunmaya maruz bırakmadan önce GS, BG ve KS kodlu örneklerin ağırlıkları sırasıyla 23,53 g, 41,69 g ve 36,34 g olarak ölçülmüştür. Toprağa gömüldükten 10 sonra GS, BG ve KS kodlu örneklerin ağırlıklarında 0. güne göre sırasıyla %11,75, %14,12 ve 6,27 oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. 20 gün sonra ise bu azalma miktarı GS, BG ve KS kodlu örnekler için sırasıyla %23,54, %29,33 ve 23,39 oranında gerçekleşmiştir. 20. günün sonunda örnekler üzerinde görülen beyaz lifsel yapılar köpük malzemelerin mantar tahribatına uğradığının göstergesi olarak değerlendirilmektedir. 30. gün sonunda ise GS, BG ve KS kodlu örneklerin ağırlıkları 0. güne göre sırasıyla %45,98, %46,00 ve 46,42 oranında azalma göstermiştir. Bu sonuçlar çalışmada üretilen köpük malzemelerin polistiren ve polietilen köpükler gibi ticari köpüklerden çok daha kısa sürede bozunarak doğaya karışabileceğini göstermiştir (Ergün, 2023). Selüloz, nişasta, kitosan ve heparin gibi polisakkaritler kısa bir süre içinde (14 gün) doğada bozulabilmektedir. Poliamid epiklorohidrin ile selülozdan üretilen köpük malzemesinin %93'ünün 85 gün sonunda bozulduğu belirtilmiştir (Liao vd., 2022). Bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılan polilaktik asitin ise 6 ay ile 24 ay arasında bozulduğu ifade edilmektedir. (Tian ve Bilal 2020). Biyolojik olarak parçalanabilmesi, toksik olmaması ve nispeten düşük maliyeti nedeniyle, biyobazlı polimerlerden yapılan köpüklerin, petrokimya ürünlerinden elde edilen alternatiflerinin yerini alabilecek potansiyele sahip olması önemli bir avantaj olarak değerlendirilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yalıtım amacıyla kullanılan ve çoğunlukla sentetik hammaddelerden üretilen köpük malzemelere alternatif biyo polimer bazlı köpük malzemeler üretilmiştir. Farklı biyo polimerlerin (GS, BG ve KS), ilavesiyle üretilen köpük malzemelerin yoğunluk, termal iletkenlik değerleri ve bozunma miktarı üzerine biyo polimer türünün etkileri araştırılmıştır. En düşük yoğunluk değeri 0,053 g/cm³ ile ksantan sakızı ilaveli köpük malzemelerden elde edilmiştir. Ayrıca termal iletkenlik katsayısı değerlerinin 0,0354 W/mK ile 0,0939 W/mK arasında değiştiği ve bu değerlerin literatürdeki diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, kabul edilebilir aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Köpük malzemelerin gözenekli yapısının havayla dolması sayesinde düşük termal iletimin meydana geldiği ve bu sayede daha iyi bir ısı yalıtımı elde edildiği belirtilmektedir. Üretilen köpük malzemelerin yoğunluk değerleri arttıkça termal iletkenlik değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Biyolojik bozunma oranları belirlemek amacıyla toprağa gömülen örnekler 30 gün sonunda başlangıç ağırlıklarına göre (0. gün) %40,15 ile %48,45 oranında ağırlıklarında azalış görülmüştür. Çalışma kapsamında üretilen selüloz bazlı köpük malzemelerden özellikle GS ve KS'nin yapı sektöründe ısı yalıtımı sağlamak için çevre dostu bir alternatif olabileceği görülmektedir. Bu malzemeler, duvarlarda dolgu maddesi olarak kullanılarak, ısı kaybını azaltmakta ve enerji tasarrufu sağlayacaktır. Ayrıca, sandviç panellerde ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılarak, yapıların mekanik dayanımını arttırıp ve ağırlığını azaltmaktadır. Bu şekilde, selüloz bazlı köpük malzemeler, hem ekonomik hem de ekolojik açıdan faydalı bir seçenek olacağı düşünülmektedir.

Yazar Katkıları

Yazar Mehmet Emin Ergün: Çalışmayı planlamıştır, çalışma planını oluşturmuştur, laboratuvar çalışmalarını yapmıştır, veri analizini yapmıştır ve makaleyi yazmıştır.

Yazar İsmail Özlüsoylu: Laboratuvar çalışmalarını yapmıştır, verileri toplamıştır ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Abdo, S. M., Youssef, A. M., El-Liethy, M. A. and Ali, G. H. (2023). Preparation of simple biodegradable, nontoxic, and antimicrobial PHB/PU/CuO bionanocomposites for safely use as bioplastic material packaging. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 40(3), 353-366.
- Borkotoky, S. S., Chakraborty, G. and Katiyar, V. (2018). Thermal degradation behaviour and crystallization kinetics of poly (lactic acid) and cellulose nanocrystals (CNC) based microcellular composite foams. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 118, 1518-1531.
- Ergün, M. E. (2023). Activated Carbon and Cellulose-reinforced Biodegradable Chitosan Foams. *BioResources*, 18(1), 1215-1231.
- Ergün, M. E., Özen E., Yıldırım, N. and Dalkılıç, B. (2020). Manufacture of wood fiber reinforced polyvinyl acetate rigid foams. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 7(2), 104-112.
- Gautam, R., Bassi, A. S. and Yanful, E. K. (2007). A review of biodegradation of synthetic plastic and foams. *Applied Biochemistry And Biotechnology*, 141, 85-108.
- Han, J. H., Lee, J., Kim, S. K., Kang, D., Park, H. B. and Shim, J. K. (2023). Impact of the Amylose/Amylopectin Ratio of Starch-Based Foams on Foaming Behavior, Mechanical Properties, and Thermal Insulation Performance. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(7), 2968-2977.

- Hassan, M. M., Tucker, N. and Le Guen, M. J. (2020). Thermal, mechanical and viscoelastic properties of citric acid-crosslinked starch/cellulose composite foams. *Carbohydrate Polymers*, 230, 115675.
- Karimi, M., Heuchel, M., Weigel, T., Schossig, M., Hofmann, D. and Lendlein, A. (2012). Formation and size distribution of pores in poly (ϵ -caprolactone) foams prepared by pressure quenching using supercritical CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids*, 61, 175-190.
- Katzbauer, B. (1998). Properties and applications of xanthan gum. *Polymer Degradation and Stability*, 59(1-3), 81-84.
- Kymäläinen, H. R. and Sjöberg, A. M. (2008). Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and Environment*, 43(7), 1261-1269.
- Liao, J., Luan, P., Zhang, Y., Chen, L., Huang, L., Mo, L., ... and Xiong, Q. (2022). A lightweight, biodegradable, and recyclable cellulose-based bio-foam with good mechanical strength and water stability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107788.
- Liao, J., Luan, P., Zhang, Y., Chen, L., Huang, L., Mo, L., ... and Xiong, Q. (2022). A lightweight, biodegradable, and recyclable cellulose-based bio-foam with good mechanical strength and water stability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107788.
- Lujan, L., Goñi, M. L. and Martini, R. E. (2022). Cellulose–Chitosan Biodegradable Materials for Insulating Applications. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(36), 12000-12008.
- Mudgil, D., Barak, S. and Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: processing, properties and food applications—a review. *Journal of Food Science And Technology*, 51, 409-418.
- Neugebauer, A., Chen, K., Tang, A., Allgeier, A., Glicksman, L. R. and Gibson, L. J. (2014). Thermal conductivity and characterization of compacted, granular silica aerogel. *Energy and Buildings*, 79, 47-57.
- Özen, E., Yıldırım, N., Dalkilic, B. and Ergun, M. E. (2021). Effects of microcrystalline cellulose on some performance properties of chitosan aerogels. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 23(26).1-10
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86.
- Santacruz-Vázquez, V., Santacruz-Vázquez, C. and Laguna Cortés, J. O. (2015). Physical characterization of freeze-dried foam prepared from aloe vera gel and guar gum. *Vitae*, 22(2), 75-86.
- Shen, Z., Kwon, S., Lee, H. L., Toivakka, M. and Oh, K. (2022). Preparation and application of composite phase change materials stabilized by cellulose nanofibril-based foams for thermal energy storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 3001-3013.
- Simpson, A., Rattigan, I. G., Kalavsky, E. and Parr, G. (2020). Thermal conductivity and conditioning of grey expanded polystyrene foams. *Cellular Polymers*, 39(6), 238-262.
- Palaniraj, A. and Jayaraman, V. (2011). Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering*, 106(1), 1-12.
- Temiz, H. ve Yeşilsu, A. F. (2006). Bitkisel protein kaynaklı yenilebilir film ve kaplamalar. *Gıda Teknolojisi Dergisi*, 2, 41-50.
- Tian, K. and Bilal, M. (2020). Research progress of biodegradable materials in reducing environmental pollution. *Abatement of Environmental Pollutants*, 313-330.
- Wang, B., Qi, Z., Chen, X., Sun, C., Yao, W., Zheng, H., ... and Zhang, Y. (2022). Preparation and mechanism of lightweight wood fiber/poly (lactic acid) composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 217, 792-802.
- Wei, S., Yiqiang, C., Yunsheng, Z. and Jones, M. R. (2013). Characterization and simulation of microstructure and thermal properties of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1278-1291.
- Yıldırım, N. (2018). Performance Comparison of Bio-based Thermal Insulation Foam Board with Petroleum-based Foam Boards on the Market. *BioResources*, 13(2), 3395-3403.

- Yıldırım, N., Özen, E., Ergün, M. E. and Dalkılıç, B. (2022). A Study on Physical, Morphological and Antibacterial Properties of Bio Polymers Reinforced Polyvinyl Acetate Foams. *Materials Research*, 25, e20210579.
- Zhao, L., Yang, G., Shen, C., Mao, Z., Wang, B., Sui, X. and Feng, X. (2022). Dual-functional phase change composite based on copper plated cellulose aerogel. *Composites Science and Technology*, 227, 109615.

Sodyum Aljinat/Kuarternize Karboksimetil Selüloz Biyofilmlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Ferhat ŞEN^{1*}, Mustafa ZOR²

^{1,2}Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 31.03.2023

Kabul: 17.07.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Polimerik malzeme kullanımının giderek artması bir takım atık depolama ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle biyomalzemelere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, sodyum aljinat/kuarternize karboksimetil selüloz biyofilmlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) sentezlenmiş ve farklı oranlarda sodyum aljinat ve kuarternize CMC içeren biyofilmler hazırlanmıştır. Hazırlanan biyofilm malzemelerinin antibakteriyel özellikleri inhibisyon zonu (disk difüzyon) yöntemi ile belirlendi. Ultraviyole (UV) ve görünür bölge spektrofotometresi kullanılarak 190-1100 nm dalga boyu aralığında malzemelerin ışık geçirgenlikleri belirlendi. Ayrıca biyofilmlerin jel içeriği soxhlet ekstraksiyonu yöntemi ile belirlendi. Geliştirilen biyofilmlerin antimikrobiyal özelliklerinin kuarternize CMC kullanılmasıyla geliştirildiği görülmektedir. Tüm dalga boylarında formülasyonlar içerisinde kuarternize CMC oranının artması ile ışık geçirgenliğinin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Yüksek jel içerikleri biyofilm formülasyonlarında kullanılan sodyum aljinat ve kuarternize CMC'nin uyum içerisinde, organik çözücülere karşı kararlı bir yapıda olduklarını göstermektedir. Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, üretilen biyofilmlerin antimikrobiyal yüzeylere gereksinim duyulan malzemelerde kaplama olarak kullanılabileceğini anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Kuarternize karboksimetil selüloz, sodyum aljinat, biyofilmler, karakterizasyon

Preparation and Characterization of Sodium Alginate/Quaternized Carboxymethyl Cellulose Biofilms

^{1,2}Department of Nanotechnology Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

Article History

Received: 31.03.2023


Accepted: 17.07.2023

Published: 15.08.2023

Research Article

Abstract – The increasing use of polymeric materials brings along some waste storage and environmental problems. Therefore, the interest in biomaterials is increasing day by day. In this study, it was aimed to develop and characterize sodium alginate/quaternized carboxymethyl cellulose biofilms. For this purpose, firstly, quaternized carboxymethyl cellulose (CMC) was synthesized and biofilms containing different ratios of sodium alginate and quaternized CMC were prepared. The antibacterial properties of the prepared biofilm materials were determined by the zone of inhibition (disk diffusion) method. The light transmittance of the materials was determined in the wavelength range of 190-1100 nm using ultraviolet (UV) and visible region spectrophotometer. In addition, the gel content of the biofilms was determined by the soxhlet extraction method. It is seen that the antimicrobial properties of the developed biofilms are improved by using quaternized CMC. It is clearly seen that the light transmittance decreases with the increase of quaternized CMC ratio in formulations at all wavelengths. High gel contents indicate that sodium alginate and quaternized CMC used in biofilm formulations are stable against organic solvents in harmony. When all the results obtained are evaluated, it is understood that the produced biofilms can be used as coatings on materials that need antimicrobial surfaces.

Keywords – Quaternized carboxymethyl cellulose, sodium alginate, biofilms, characterization

¹  ferhatsen@beun.edu.tr

²  mustafa.zor@beun.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

İnsanoğlu mühendislik süreçlerinde farklı malzemelerin imalatı için sentetik polimerlere neredeyse tamamen bağımlıdır. Petrol bazlı polimerik malzemelerin çevreye olan zararı biyopolimerleri oldukça önemli hale getirmektedir. Doku mühendisliği, ilaç salınımı, yara iyileştirme gibi birçok sağlık uygulamaları için biyobozunur özelliğe sahip sentetik ve doğal kaynaklı biyomalzemeler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir (Bedian ve ark. 2017; Babu ve ark., 2013). Aljinik asit ve karboksimetil selüloz biyobozunur özelliğe sahip biyopolimerlere örnek olarak verilebilir.

Aljinik asitin sodyum tuzu olan sodyum aljinat kahverengi alglerin hücre duvarlarından ekstrakte edilmekte ve doğada bol miktarda bulunmaktadır. Toksik olmaması, biyoyumlu olması ve suda çözünebilir olması en önemli özelliklerindedir (Yun ve ark, 2020; Zhang ve ark., 2018; Zhao ve ark., 2022). Sodyum aljinat özellikler gıda endüstrisinde stabilizör, kıvamlaştırıcı ve jel oluşturmak için kullanılır (Yang ve ark., 2011; Şen ve ark., 2017).

Karboksimetil selüloz (CMC), selülozun anyonik ve suda çözünebilir bir türevidir. CMC ve selüloz arasındaki moleküler olarak tek fark selüloz yapısında bulunan bazı hidroksil gruplarındaki hidrojen atomlarının yerine anyonik karboksimetil gruplarının bulunmasıdır. Yapısında β -1,4-glikosidik bağlar bulunur (Rahman ve ark., 2021). CMC krem, losyon ve diş macunu gibi ürünlerde bağlayıcı, kıvamlaştırıcı ve stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tekstil, boya, yapıştırıcı, kağıt, seramik ve gıda gibi bir çok endüstride üstün özellikleri nedeniyle kullanım alanı bulmaktadır (Benchabane ve Bekkour, 2008). Bu üstün özellikleri arasında suda çözünebilir olması, yapışabilir olması, pH'a duyarlı olması, toksik olmaması ve jel oluşturabilmesi sayılabilir (Javanbakht ve Shaabani, 2019).

Kuarternize grupların antimikrobiyal aktivite gösterdiği ile ilgili literatürde birçok çalışma bildirilmiştir. Kitosan bunların en önemli örnekleri arasında gösterilebilir. Kitosanın doğası gereği kimyasal yapısında bulunan amin gruplarındaki protonlar nedeniyle doğal antimikrobiyal ajan olarak kullanılmaktadır (Tan ve ark., 2013). Ayrıca kitosan asetik asitte çözüldüğünde katyonik bir polielektrolit haline gelmektedir (Luo ve Wang, 2014). Bu şekilde gerçekleştirilen kuarternize işlemleriyle kitosanın antimikrobiyal özelliği geliştirilebilmektedir.

Yu ve ark. (2012) ahşap malzeme yüzeyine 2-(dimetilamino)etil metakrilat aşılama ve yüzeyi alkil halojenür ile muamele ederek ahşap yüzeyinde kuarternize gruplar oluşturmuşlardır. Onlar elde edilen ahşap malzemelerin *Escherichia coli*'ye karşı etkili olduğunu ve hastane ve rehabilitasyon merkezleri gibi özel uygulamalarda antimikrobiyal performansına sahip hijyenik ahşap yüzey olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Başka bir çalışmada, He ve ark. (2022) kuarternize amonyum metakrilat bileşiklerini sentezlemiş bunları dental reçinelerle ilave ederek dental reçine kompozitler elde etmişlerdir. Onlar elde edilen dental reçine kompozitlerin antimikrobiyal özelliğe sahip olduğunu bildirmişlerdir. Bir diğer çalışmada, Yin ve ark. (2018) kuarternize karboksimetil kitosan sentezlemiş ve bunu PVA ve bakır iyonlarıyla karıştırarak polimerik filmler elde etmişlerdir. Onlar elde edilen filmlerin *Escherichia coli*'ye karşı %99.92 ve *Staphylococcus aureus*'a karşı %98.30 oranında etkili olduğunu, ambalajlama ve biyomedikal uygulamalarda kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Ramakrishnan ve Kulandhaivelu (2021) sodyum aljinat ve CMC kullanarak gıda ambalaj materyali olarak biyopolimer film geliştirmişlerdir. Geliştirilen biyofilmlerin kalınlığı, nem içeriği, yüzey morfolojisi, nem bariyeri özelliği, optik özelliği ve mekanik özelliği incelenmiştir. Ancak elde edilen biyofilmlerin antimikrobiyal özellikleri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Han ve ark. (2018) ise sodyum aljinat, CMC ve tarçın esansiyel yağı kullanarak biyofilm hazırlamışlar ve tarçın esansiyel yağı ile biyofilmlere antimikrobiyal özellik kazandırdıklarını bildirmişlerdir. Bu çalışmada; ilk olarak CMC kuarternize edildi ve farklı oranlarda soydum aljinat ve kuarternize CMC içeren biyofilmler hazırlandı. CMC'nin kuarternize

edilmesiyle biyofilmlere antimikrobiyal özellik kazandırılması hedeflendi. Hazırlanan biyofilmlerin antimikrobiyal aktiviteleri, ışık geçirgenlikleri ve jel içerikleri incelendi.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada karboksimetil selüloz (CMC) olarak düşük viskoziteli (50-200 cP, %4 H₂O'da ve 25 °C'de) karboksimetil selüloz sodyum tuzu, sodyum aljinat olarak ise kahverengi alglerden elde edilen aljinik asit sodyum tuzu kullanılmıştır. CMC, soydum aljinat, soydum hidroksit ve glisidiltrimetilamonyum klorür (GTMAC) Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır.

2.2. Kuarternize Karboksimetil Selülozun Sentezi

Kuarternize CMC, Šimkovic ve ark.'nın (2023) yöntemi modifiye edilerek sentezlenmiştir. 5 g CMC, 3,25 g GTMAC, 1,5 mL 1 M NaOH ve 1,625 g destile su bir beherde karıştırılmıştır. Karışım 5 saat 60°C'lik su banyosunda bekletildi. Süre sonunda karışıma 100 mL etil alkol eklenerek kuarternize CMC çöktürülmüştür. Kuarternize CMC süzülde ve 3 kez etil alkol ile yıkanarak reaksiyona girmeyen GTMAC ve soydum hidroksit ortamda uzaklaştırıldı. Kuarternize CMC 50°C'lik etüvde 24 saat kurutularak elde edildi.

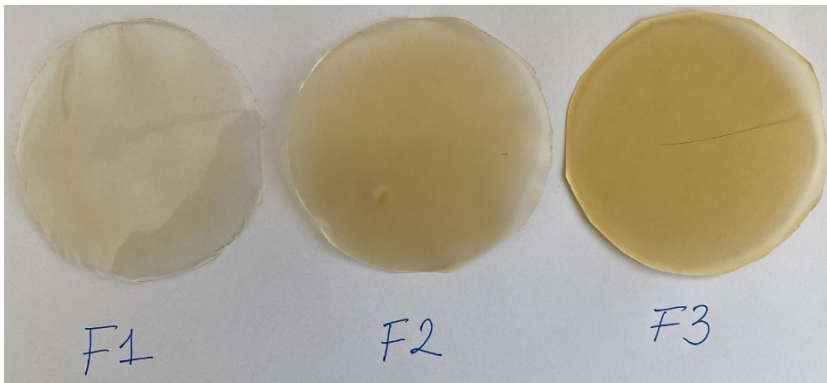
2.3. Soydum Aljinat/Kuarternize CMC Biyofilmlerin Hazırlanması

Tablo 1'de belirtilen oranlarda soydum aljinat ve kuarternize CMC bir beherde tartıldı ve 50 mL destile su ile karıştırılarak çözündürülmüştür. Elde edilen homojen çözelti bir petri kabına dökülerek 50°C'lik etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Soydum aljinat/kuarternize CMC biyofilmler petri kabından ayrılarak elde edildi (Şekil 1.).

Tablo 1

Soydum aljinat/kuarternize CMC filmlerin formülasyonu

Numune	Sodyum aljinat (g)	Karboksimetil selüloz (g)
F1	3	-
F2	2	1
F3	1	2



Şekil 1. Soydum aljinat/kuarternize CMC biyofilmler

2.4. Karakterizasyon

2.5. Antimikrobiyal Aktivite

Hazırlanan biyofilmlerin antimikrobiyal aktivitesini belirlemek için inhibisyon zonu metodu kullanıldı. Yöntemde gram negatif bir bakteri olan *E. Coli* ve gram pozitif bir bakteri olan *S. Aureus* patojenleri kullanıldı. Öncelikle bakteri kültürleri Tryptic Soy Broth'ta (TSB) 24 saat 37 °C'de inkübe edilerek aktiveleştirildi.

Aktifleşmiş kültürlerden 0,1 mL alınarak Mueller-Hinton agar içeren petrilere yayma plak yöntemiyle ekim yapıldı. Hazırlanan biyofilmlerden 6 mm çapında numuneler kesilerek petrilere yerleştirildi. Petrilere 24 saat 37 °C’de inkübe edildi. İnkübasyon sonrasında numuneler etrafında oluşan inhibisyon zonlarının çapı ölçüldü.

2.6. Işık Geçirgenliği

Hazırlanan biyofilmlerin ışık geçirgenlikleri ultraviyole (UV) ve görünür bölge spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirildi. Ölçüm 190-1100 nm dalga boyu aralığında PG T80+ marka UV ve görünür bölge spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirildi.

2.7. Jel içeriği

Hazırlanan biyofilmlerin jel içeriği soxhlet ekstraksiyonu yöntemi ile belirlendi. Tartılan biyofilmler soxhlet aparatındaki kartuşa yerleştirildi ve 6 saat aseton ile ekstraksiyon yapıldı. Süre sonunda biyofilmler etüvde 24 saat 50 °C’de kurutulduktan sonra tekrar tartıldı. Numunelerin %jel içerikleri aşağıdaki eşitlikten hesaplandı.

$$\%Jel \text{ içeriği} = m_1/m_0 \times 100$$

m_0 : Başlangıçta biyofilmin ağırlığı

m_1 : Ekstraksiyon sonrası biyofilmin ağırlığı

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Biyofilmlerin antimikrobiyal aktivitesi

Elde edilen biyofilmlerin antimikrobiyal aktiviteleri, gram negatif bir bakteri olan *E. Coli* ve gram pozitif bir bakteri olan *S. Aureus* patojenlerine karşı oluşturulmuş oldukları inhibisyon zonları ölçülerek belirlendi. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir. Biyo malzemeler bakteriler için besin kaynağı olması nedeniyle biyo malzemelerden üretilen biyofilmlerin yüksek oranda antimikrobiyal özellik göstermesi beklenemez (Van H ve Michiels, 2010). Ancak bu çalışmada CMC kuarternize edilerek elde edilen biyofilmlere antimikrobiyal özellik kazandırılması amaçlanmaktadır. Kuarternize fonksiyonel grup içeren bileşiklerin antimikrobiyal özellik gösterdiği ile ilgili literatürde çalışmalar mevcuttur (El-Refaie ve ark., 2023). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, formülasyonlarda kuarternize CMC oranının artmasıyla antimikrobiyal aktivitenin arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Yalnızca sodyum aljinat içeren F1 numunesinin inhibisyon zonunun mikrobiyal yük açısından oldukça temiz olduğu, kuarternize CMC içeren F2 ve F3 numunelerinin inhibisyon zonlarının ise kısmen mikrobiyal yük içermesine rağmen zon çaplarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, elde edilen biyofilmlerin kuarternize CMC kullanılmasıyla antimikrobiyal özelliklerinin geliştirildiği görülmektedir.

Tablo 2
Biyofilmlerin inhibisyon zonları

Numune	<i>E. Coli</i> (mm)	<i>S. Aureus</i> (mm)
F1	11	11
F2	15	13
F3	16	14

3.2. Biyofilmlerin ışık geçirgenliği

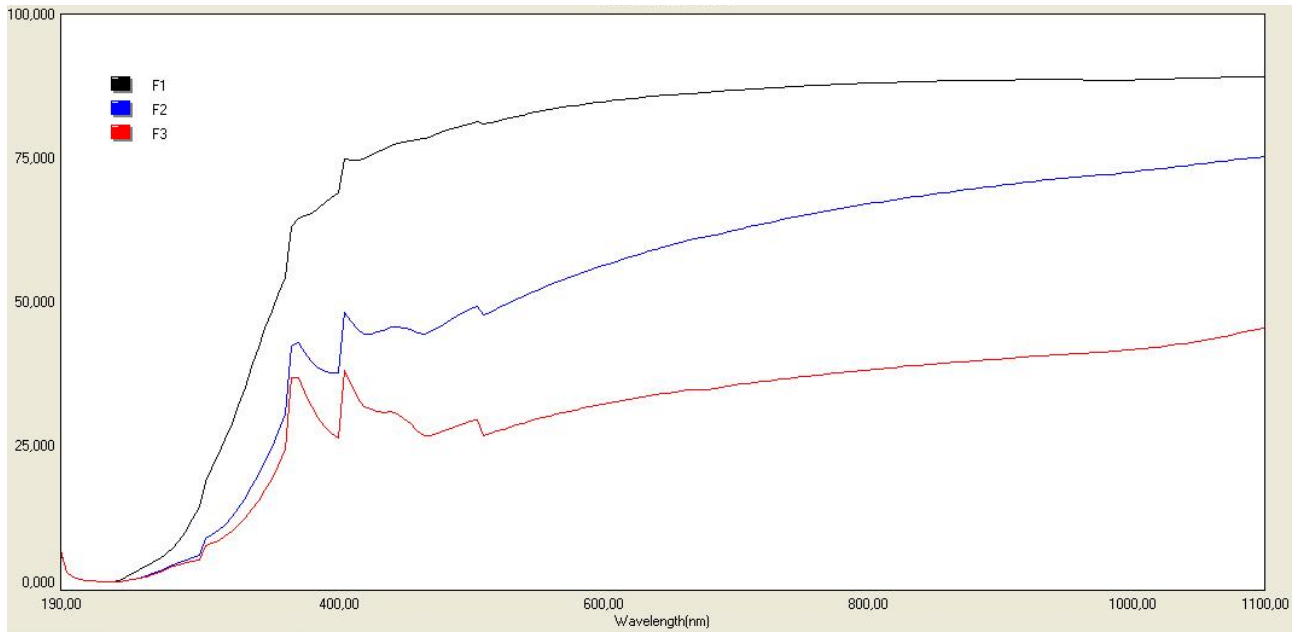
Işık geçirgenliği polimerik film malzemeleri için oldukça önemli bir kriterdir. Örneğin, ışık ile bozulan gıdaların ambalajlanmasında kullanılan polimerik filmlerin opak olması tercih edilirken, ışık ile bozulmayan gıdaların ambalajlanmasında ürünün tüketici tarafından görünebilmesi için ışık geçiren şeffaf polimerik filmlerin kullanılması tercih edilmektedir. Elde edilen biyofilmlerin farklı dalga boylarındaki ışık geçirgenlikleri Tablo 3’te, ışık geçirgenlik spektrumları ise Şekil 2’de görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde,

tüm dalga boylarında formülasyonlar içerisinde kuarternize CMC oranının artması ile ışık geçirgenliğinin azaldığı açık bir şekilde görülmektedir. Elde edilen sonuçlara paralel olarak CMC'nin ışık geçirgenliğini azalttığı Ramakrishnan ve Kulandhaivelu (2021) tarafından da bildirilmiştir.

Tablo 3

Biyofilmlerin ışık geçirgenlikleri

Numune	400nm T (%)	500nm T (%)	600nm T (%)	700nm T (%)
F1	69	80	85	87
F2	38	49	56	63
F3	27	30	32	36



Şekil 2. Biyofilmlerin ışık geçirgenlik spektrumları

3.3. Biyofilmlerin jel içeriği

Soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile yapılan biyofilmlerin jel içeriği testinin sonuçları Tablo 4'de gösterilmiştir. Tüm biyofilmlerin jel oranlarının yüksek olduğu belirlendi. Bu değerler F1 için %89,01, F2 için %90,54, F3 için %86,82 olarak hesaplandı. Elde edilen yüksek jel içerikleri biyofilm formülasyonlarında kullanılan sodyum aljinat ve kuarternize CMC'nin uyum içerisinde, organik çözücülere karşı kararlı bir yapıda olduklarını göstermektedir.

Tablo 4

Biyofilmlerin jel içerikleri

Numune	Jel içerikleri (%)
F1	89,01
F2	90,54
F3	86,82

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, sodyum aljinat/kuarternize karboksimetil selüloz biyofilmlerin geliştirilmesi ve karakterizasyonu amaçlandı. Bu amaç için ilk olarak kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) sentezlendi ve farklı oranlarda soydum aljinat ve kuarternize CMC içeren biyofilmler hazırlandı. Antimikrobiyal test sonuçları biyofilmler içerisinde sentezlenen kuarternize CMC oranının artmasıyla antimikrobiyal aktivitenin arttığını gösterdi. Işık geçirgenliği test sonuçları kuarternize CMC'nin biyofilmlere opaklık kazandırdığını gösterdi. Ayrıca tüm numunelerin jel içeriklerinin %86-90 aralığında olduğu tespit edildi. Elde edilen tüm sonuçlar üretilen biyofilmlerin antimikrobiyal yüzeylere gereksinim duyulan malzemelerde kaplama olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Ayrıca biyofilmlerin antimikrobiyal gıda ambalaj materyali olarak kullanılabilmesi için yeni araştırmaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Yazar Katkıları

Ferhat ŞEN: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Mustafa ZOR: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Babu, R.P., O'Conno, K. ve Seeram, R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials*, 2, 8-24. <https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8>
- Bedian, L., Villalba-Rodríguez, A.M., Hernández-Vargas, G., Parra-Saldivar, R. ve Iqbal, H.M.N. (2017). Bio-based materials with novel characteristics for tissue engineering applications - A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 98, 837-846. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.048>
- Benchabane, A. ve Bekkour, K. (2008). Rheological properties of carboxymethyl cellulose (CMC) solutions. *Colloid and Polymer Science*, 286, 1173-1180. <https://doi.org/10.1007/s00396-008-1882-2>
- Han, Y., Yu, M. ve Wang, L. (2018). Physical and antimicrobial properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films incorporated with cinnamon essential oil. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.11.001>
- He, X., Ye, L., He, R., He, J., Ouyang, S. ve Zhang, J. (2022). Antibacterial dental resin composites (DRCs) with synthesized bis-quaternary ammonium monomethacrylates as antibacterial agents. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 135, 105487. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105487>
- Javanbakht, S., Shaabani, A. (2019). Carboxymethyl cellulose-based oral delivery systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.079>
- Kenawy, E.R.S., Kamoun, E.A., Elsigeny, S.M., Haikal, S., El-Shehawy, A.A ve Mahmoud, Y.A.G. (2023). Physically cross-linked PVA-quaternized chitosan-Ag NPs composite hydrogel membranes for potential topical wound healing applications: Synthesis, physicochemical properties, and in vitro bioevaluation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 13, 23-35. <http://doi.org/10.7324/JAPS.2023.62346>
- Luo, Y. ve Wang, Q. (2014). Recent development of chitosan-based polyelectrolyte complexes with natural polysaccharides for drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 353-367. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.12.017>
- Rahman, M.S., Hasan, M.S., Nitai, A.S., Nam, S., Karmakar, A.K., Ahsan, M.S., Shiddiky, M.J.A. ve Ahmed, M.B. (2021). Recent developments of carboxymethyl cellulose. *Polymers*, 13, 1345. <https://doi.org/10.3390/polym13081345>
- Ramakrishnan, R. ve Kulandhaivelu, S.V. (2021). Preparation and properties of sodium alginate/carboxymethyl cellulose films for packaging application. *Chiang Mai Journal of Science*, 1634.1644. https://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/dl.php?journal_id=11570
- Šimkovic, I., Gucmann, F. ve Hricovíni, M. (2023). Properties of quaternized and crosslinked carboxymethylcellulose films. *Cellulose*, 30, 2023-2036. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-05031-5>

- Şen, F., Uzunsoy, İ., Baştürk, E. ve Kahraman, M.V. (2017). Antimicrobial agent-free hybrid cationic starch/sodium alginate polyelectrolyte films for food packaging materials. *Carbohydrate Polymers*, 170, 264-270. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.04.079>
- Tan, H., Ma, R., Lin, C., Liu, Z. ve Tang, T. (2013). Quaternized chitosan as an antimicrobial agent: Antimicrobial activity, mechanism of action and biomedical applications in orthopedics. *International Journal of Molecular Sciences*, 14, 1854-1869. <https://doi.org/10.3390/ijms14011854>
- Van Houdt R. ve Michiels C. W. (2010). Biofilm formation and the food industry, a focus on the bacterial outer surface. *Journal of Applied Microbiology*, 109, 1117-1131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2010.04756.x>
- Yang, J.S., Xie, Y.J. ve He, W. (2011). Research progress on chemical modification of alginate: a review. *Carbohydrate Polymers*, 84, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.11.048>
- Yin, M., Lin, X., Ren, T., Li, Z., Ren, X. ve Huang, T.S. (2018). Cytocompatible quaternized carboxymethyl chitosan/poly(vinyl alcohol) blend film loaded copper for antibacterial application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 992-998. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.105>
- Yu, H., Fu, Y., Li, G. ve Liu, Y. (2013). Antimicrobial surfaces of quaternized poly[(2-dimethyl amino)ethyl methacrylate] grafted on wood via ARGET ATRP. *Holzforschung*, 67, 455-461. <https://doi.org/10.1515/hf-2012-0077>
- Yun, X., Zhang, Q., Luo, B., Jiang, H., Chen, C., Wang, S. ve Min, D. (2020). Fabricating flexibly resistive humidity sensors with ultra-high sensitivity using carbonized lignin and sodium alginate. *Electroanalysis*, 32, 2282-2289. <https://doi.org/10.1002/elan.202060128>
- Zhang, J., Wang, X.X., Zhang, B., Ramakrishna, S., Yu, M., Ma, J.W., ve Long, Y.Z. (2018). In situ assembly of well-dispersed Ag nanoparticles throughout electrospun alginate nanofibers for monitoring human breath-Smart fabrics. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 10, 19863-19870. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b01718>
- Zhao, Q., Jiang, Y., Duan, Z., Yuan, Z., Zha, J., Wu, Z., Huang, Q., Zhou, Z., Li, H., He, F., Su, Y., Tan, C. ve Tai, H. (2022). A Nb₂CT_x/sodium alginate-based composite film with neuron-like network for self-powered humidity sensing. *Chemical Engineering Journal*, 438, 135588, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135588>

Kuarternize Karboksimetil Selüloz Esaslı Farklı Ahşap Kaplamaların Antimikrobiyal ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi

Mustafa ZOR^{1,*}, Ferhat ŞEN²

^{1,2}Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 02.05.2023
Kabul: 18.07.2023
Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Günlük yaşamın hemen hemen her alanında kullanılan ahşap kaplamalara kullanım alanlarının gereksinimine göre fonksiyonel özellikler kazandırılmaktadır. Steril alanlara gereksinim duyulan uygulamalarda ahşap kaplamaların antimikrobiyal özellik göstermesi fonksiyonel ahşap kaplamaların en önemli örneklerindedir. Ayrıca kullanım alanına göre hidrofil veya hidrofob ahşap kaplamaların tercih edilebilmesi önemli bir avantajdır. Bu çalışmada, kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak kuarternize CMC sentezlendi ve kayın, meşe ve maun ahşap kaplamalara kuarternize CMC daldırma metodu ile empenye edildi. Elde edilen fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktiviteleri hem gram pozitif (*S. aureus*) hem de gram negatif (*E. coli*) bakterilere karşı inhibisyon zonu (disk difüzyon) yöntemi kullanılarak incelendi. Kaplamaların yüzey özellikleri su ile yapmış oldukları temas açısı ölçülerek belirlendi. Ayrıca ahşap kaplamaların hücre lümenlerinin kuarternize CMC ile doldurulduğu taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Elde edilen sonuçlardan ahşap kaplamaların hücre lümenlerinin kuarternize CMC ile başarılı bir şekilde doldurulduğu ve kaplamalara antimikrobiyal özellik ve hidrofilik karakter kazandırıldığı belirlendi.

Anahtar kelimeler: Kuarternize karboksimetil selüloz, ahşap kaplamalar, antimikrobiyal, yüzey özellikleri

Investigation of Antimicrobial and Surface Properties of Different Wood Coatings Based on Quarternized Carboxymethyl Cellulose

^{1,2}Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Nanotechnology Engineering, Zonguldak, Türkiye

Article History


Received: 02.05.2023
Accepted: 18.07.2023
Published: 15.08.2023

Research Article

Abstract – Wooden coatings, which are used in almost every area of daily life, are given functional properties according to the needs of the areas of use. In applications where sterile areas are required, the antimicrobial feature of wood coatings is one of the most important examples of functional wooden coatings. In addition, it is an important advantage that hydrophilic or hydrophobic wood coatings can be preferred according to the usage area. In this study, it was aimed to investigate the antimicrobial and surface properties of quaternized carboxymethyl cellulose (CMC) based wood coatings. Firstly, quaternized CMC was synthesized and quaternized CMC was impregnated on beech, oak and mahogany wood veneers by dipping method. The antimicrobial activities of the obtained functionalized wood coatings were investigated against both gram positive (*S. aureus*) and gram negative (*E. coli*) bacteria using the zone of inhibition (disk diffusion) method. The surface properties of the coatings were determined by measuring their contact angle with water. In addition, the cell lumens of the wood veneers were examined by scanning electron microscopy (SEM), in which quaternized CMC was filled. From the results obtained, it was determined that the cell lumens of the wooden coatings were successfully filled with quaternized CMC and the coatings were given antimicrobial properties and hydrophilic character.

Keywords: Quarternized carboxymethyl cellulose, wood coatings, antimicrobial, surface properties

¹  mustafa.zor@beun.edu.tr

²  ferhatsen@beun.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Yenilenebilir bir lignoselülozik malzeme olan ahşap, sayısız uygulama alanı nedeniyle mühendislik yapımlar için oldukça tercih edilebilir bir malzemedir. Ancak ahşabın boyutsal kararlılığı, geri dönüştürülemeyen sentetik malzemelere göre daha düşüktür. Bu durum, ahşabın kullanımını sınırlandırmaktadır çünkü boyutsal kararlılık birçok uygulama alanında önemli bir kriterdir. Son yıllarda, ahşap malzemenin olumsuz özelliklerini iyileştirici çok çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve çevre dostu yöntemlerle katma değerli malzemelerin kullanımı tercih edilir hale gelmiştir (Krystofiak ve ark., 2022; Winandy ve ark., 2008; Taghari ve ark., 2021). Günümüzde önemi daha da artan yapay zeka ve makine öğrenmesi gibi teknolojik ilerlemeler de ahşap sektöründe uygulanabilmektedir (Sözen ve Bardak 2021). Bu durum ahşabın her dönem kendi kullanım potansiyelini oluşturduğunu göstermektedir.

Yüzey özellikleri, ahşap esaslı levhalar açısından oldukça önemli bir kavram olup levha ürünleri, estetik, mukavemet özelliklerini ve ekonomik değerlerini artırmak için sıvı veya katı kaplama malzemeleri ile kaplanmaktadır (İstek ve ark., 2010; İstek ve ark., 2015; Atar, 2006; Nemli, 2003). Her türlü kaplama malzemesinin özellikleri, birçok şeyin yanında, özellikle kaplama filminin kimyasal bileşimine ve kalınlığına bağlıdır. Kaplama formülasyonuna dahil edilen bağlayıcı, çözücü ve pigmentler ve dolgu maddeleri gibi diğer maddeler, kaplamanın hem mekanik hem de fiziksel özelliklerini ve belirli bir ahşap altlık türü ile etkileşimlerini belirlemektedir (Keskin ve Tekin, 2011; Podgorski ve ark., 2017). Ahşap zeminler için en popüler yüzey kaplamalarından bazıları akrilatlar ve poliüretanlardır. Günümüzde birçok farklı kaplama üreticisi, pazardaki farklı uygulamalar için çeşitli akrilat reçineleri ve poliüretan reçine bazlı su bazlı kaplamalar sunmaktadır. Genel olarak, bu kaplamalar daha düşük uçucu organik bileşik içeriğine sahipken, filmleri alt tabakalara yapışma, esneklik, dayanıklılık, basınç ve çekme mukavemeti, çizilme ve aşınma direnci ve hava şartlarında kararlılık gibi mükemmel özelliklere sahiptir (Xu ve ark., 2018).

Karboksümetil selüloz (CMC) suda çözünebilir bir selüloz türevidir. Karboksümetil grupları nedeniyle anyonik karakterdedir (Zhang ve ark., 2023). Šimkovic ve ark. (Šimkovic ve ark., 2023) tarafından CMC'nin kuarternizasyonu bildirilmiştir. Kuarterner amonyum tuzları bakterilerinin gelişmesini engelleyerek antimikrobiyal özellik gösterirler (Uppanan ve ark., 2011). Literatürde kuarternize edilerek antimikrobiyal özellik kazandırılan malzemeler üzerine birçok çalışma bildirilmiştir. Örneğin Pour ve ark. (Pour ve ark., 2015) nişastayı kuarternize etmiş ve polivinil alkol ile birlikte çapraz bağlı filmler elde etmek için kullanmışlardır. Elde edilen çapraz bağlı filmlerin orta derecede antibakteriyel aktivite gösterdiği ve antimikrobiyal ambalaj malzemesi olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, Wei ve ark. (Wei ve ark., 2022) Schiff bazı reaksiyonuyla farklı süstitüsyon derecelerine sahip kuarterner amonyum tuzu ile modifiye edilmiş kitosan/selüloz kompozit malzemeler hazırlamışlardır. Elde edilen malzemelerin genel olarak yüksek gözenekliliğe, önemli miktarda su alma kapasitesine, düşük bozunma kabiliyetine, iyi antibakteriyel etkinliğe, iyi huylu sitotoksositeye, düşük hemoliz oranına, üstün kan pıhtılaşmasına ve yaraların iyileşmesi için olumlu etkiye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle elde edilen malzemelerin antibakteriyel hemostatik pansuman malzemesi olarak yara bakımında kullanılabilmesi bildirilmiştir.

Ahşap kaplamalara kullanım alanlarına göre belirli özellik kazandırmak amacıyla fonksiyonelleştirme işlemleri yapılmaktadır. Özellikle ahşap kaplamaların mekanik dayanımını, hidrofobikliğini, ve ahşap malzemenin yapısını değiştirmek için termal-hidro-mekanik ve kimyasal işlemler kullanılarak mühendisleştirilmiş yapı malzemeleri elde edilmektedir (Sandberg ve ark., 2017; Mantanis, 2017; Sözen 2022). Fonksiyonelleştirilmiş ahşap malzemeler üzerine su filtreleme ve arıtma (Vitas ve ark., 2018), yapısal malzemeler (Song ve ark., 2018), enerji depolama malzemeleri (Chen ve ark., 2017) ve akıllı binalar (Liu ve ark., 2020) gibi araştırmalar literatürde görülmektedir (Beims ve ark., 2022).

Bu makalede; kuarternize karboksümetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak kuarternize CMC sentezlenmiş ve farklı ahşap kaplamalara (kayın, meşe, maun) kuarternize CMC içeren çözeltiler daldırma metodu ile emprenye

edilmiştir. Hazırlanan fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktiviteleri, yüzey temas açısı ve morfolojik analizleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Karboksimetil selüloz (CMC), soydum hidroksit ve glisidiltrimetilamonyum klorür (GTMAC) Sigma Aldrich'ten, meşe (O), kayın (B) ve maun (M) ahşap kaplamalar (0,75 mm kalınlık) Rasmus Farschs Vej (Danimarka) firmasından temin edilmiştir.

2.2. Kuarternize Karboksimetil Selülozun Sentezi ve Çözeltilinin Hazırlanması

Kuarternize CMC, Šimkovic ve ark.'nın (2023) yöntemi modifiye edilerek sentezlenmiştir. Bir behere 5 g CMC, 3,25 g GTMAC, 1,5 mL 1 M NaOH ve 1,625 g destile su alınarak karıştırıldı. Beher 5 saat 60°C'lik su banyosunda bekletildi. Karışıma 100 mL etil alkol eklenerek ürün çöktürüldü. Çöken kuarternize CMC süzüldü ve reaksiyona girmeyen GTMAC ve soydum hidroksiti ortamdan uzaklaştırmak için 3 kez etil alkol ile yıkandı. 50°C'lik etüvde 24 saat kurutularak kuarternize CMC elde edildi.

2.3. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların hazırlanması

Ahşap kaplama malzemesi olarak kayın, meşe ve maun kaplamaları seçilmiştir. Her bir ahşap kaplamadan 3,5x7x0,75 cm boyutlarında kesim yapıldı. %10'luk Kuarternize CMC çözeltisine her bir kaplama bir dakika süre ile daldırıldı (1 kez daldırma). Kaplamalar 50°C'lik etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Daha fazla %10'luk Kuarternize CMC'yi ahşap kaplamalara empenye edebilmek için kaplamaların bir bölümü tekrar çözeltiye daldırıldı (2 kez daldırma) ve 50°C'lik etüvde 24 saat bekletilerek kuruması sağlandı (Şekil 1.). Elde edilen numunelerin kodları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.

Kaplama numunelerinin kodları

Numune	Numune Kodu
Kayın (kontrol grubu)	B
1 kez daldırma uygulanmış kayın	B1
2 kez daldırma uygulanmış kayın	B2
Meşe (kontrol grubu)	O
1 kez daldırma uygulanmış meşe	O1
2 kez daldırma uygulanmış meşe	O2
Maun (kontrol grubu)	M



Şekil 1. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların daldırılması ve kurutulması

2.4. Karakterizasyon

2.4.1. Antimikrobiyal Aktivite

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktivitesi inhibisyon zonu metodu ile gram negatif bir bakteri olan *E. coli* ve gram pozitif bir bakteri olan *S. aureus* patojenleri kullanılarak belirlendi. Tryptic Soy Broth'ta (TSB) 24 saat 37 °C'de inkübe edilerek aktifleştirilmiş bakteri kültürlerinden 0,1 mL alınarak Mueller-Hinton agar içeren petrilere yayma plak yöntemi kullanılarak ekildi. 6 mm çapında kesilmiş fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplama numuneleri ekim yapılan petrilere yerleştirildi. Petriler 24 saat 37°C'de inkübe edildikten sonra numuneler etrafında oluşan inhibisyon zonları ölçüldü.

2.4.2. Yüzey özellikleri

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri Eroğlu'nun (2020) yöntemine belirlendi. Yöntemde numunelerin su ile yapmış olduğu temas açıları gonyometre (Krüss Advance Drop Shape Analyzer, DSA100) kullanılarak ölçüldü. Numuneler analizden önce ince şeritler halinde kesildi. Numuneler üzerine 2 µl distile su damlatılarak temas açıları ölçüldü. Her bir numune için 5 ölçüm alınarak ortalamaları hesaplandı.

2.4.3. Morfolojik özellikleri

Numunelerin SEM görüntüleri TESCAN (MAIA3 XMU) marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edildi. Analizden önce, numunelerin yüzeyi Au/Pd (60:40) ile kaplandı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların antimikrobiyal aktivitesi

Fonksiyonelleştirilmiş farklı ahşap kaplamaların *E. coli* ve *S. aureus*'a karşı oluşturmuş oldukları inhibisyon zonlarının çapları Tablo 2.'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her iki bakteri türünde de ahşap kaplamalara daldırma yöntemi ile empenye edilen kuarternize CMC'nin numunelerin antimikrobiyal aktivitesini geliştirdiği görülmektedir. 2 kez daldırma metodu uygulanan numunelerin 1 kez uygulananlara göre daha yüksek antimikrobiyal etki göstermektedir. Bunun sebebi, ahşap kaplamalara kuarternize CMC'nin daha fazla nüfuz etmesidir. Ahşap kaplama türleri arasındaki farklar incelendiğinde, inhibisyon zonlarında önemli bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ahşap kaplamalara sentezlenen kuarternize CMC'nin empenye edilmesi ile göreceli olarak antimikrobiyal özellik kazandırılmıştır.

Tablo 2.

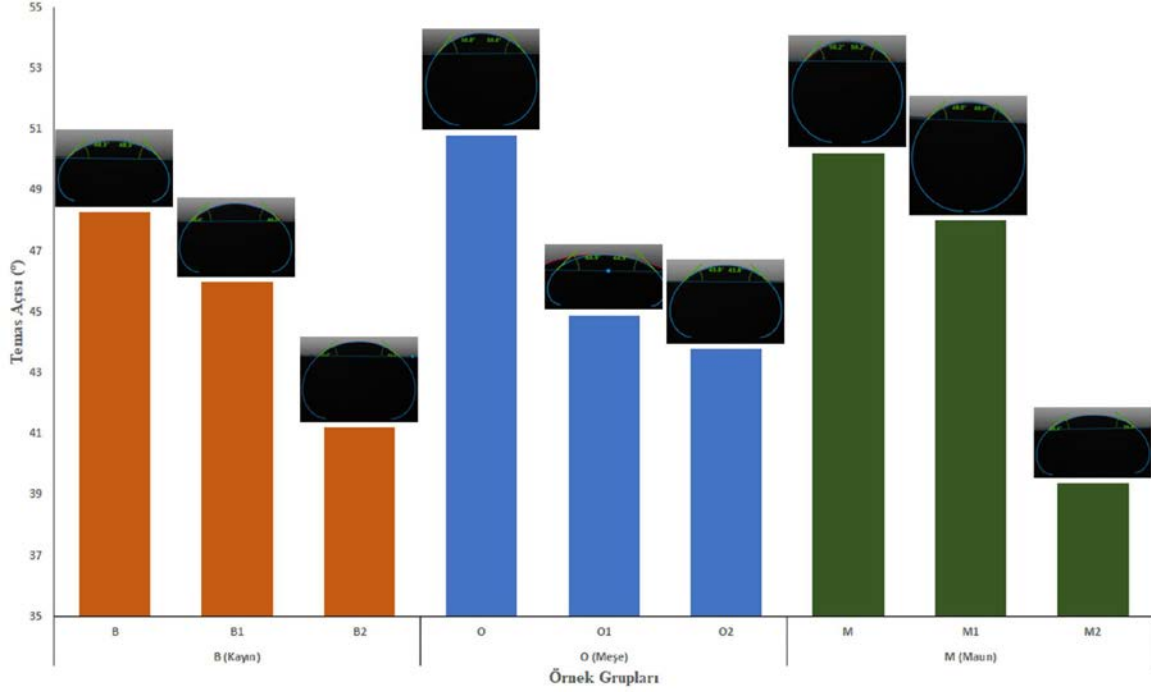
Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların inhibisyon zonları

Numune	<i>E. coli</i> (mm)	<i>S. aureus</i> (mm)
B	10	10
B1	13	11
B2	14	13
O	9	7
O1	11	13
O2	12	15
M	8	10
M1	9	11
M2	12	12

3.2. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların yüzey özellikleri su ile yapmış oldukları temas açıları ile belirlendi. Numunelerin temas açıları Şekil 2. de gösterilmiştir. Ahşap kaplamaların temas açıları incelendiğinde meşe ve maunun birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (sırasıyla 50,8°, 50,2°). Kayının ise bunlardan biraz daha düşük (48,3°) bir temas açısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, ahşap kaplamalara daldırma yöntemi ile empenye edilen kuarternize CMC'nin numunelerin temas açısı değerlerini azalttığı ve malzemelere hidrofilik özellik kazandırdığı açıktır. Ayrıca 2 kez daldırma metodu uygulanan numunelerin 1

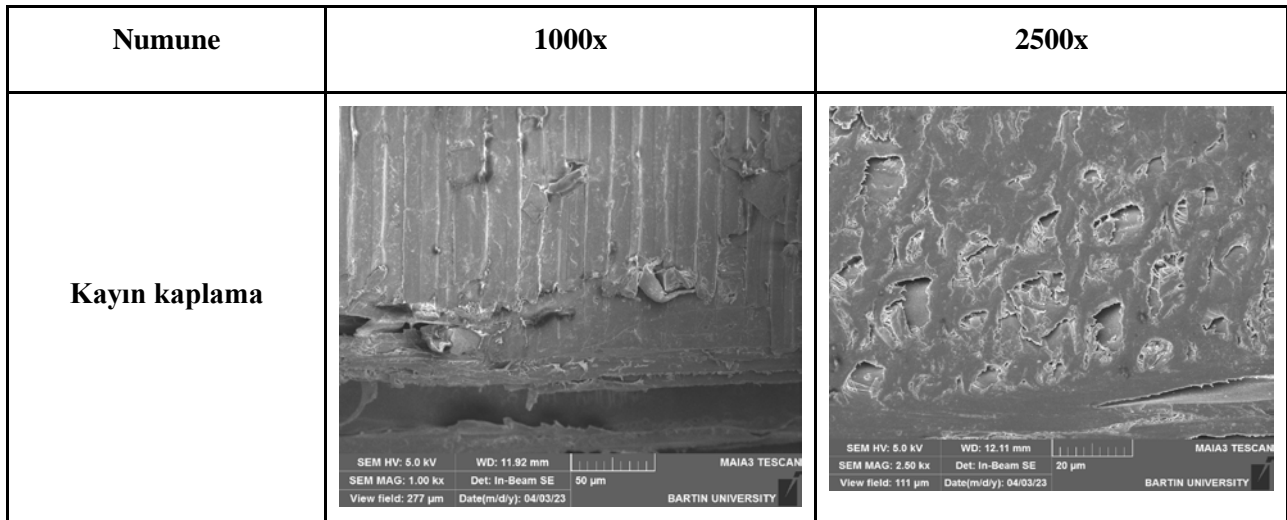
kez uygulananlara göre daha düşük temas açısı değerlerine ve daha yüksek hidrofilik karaktere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Temas açılarındaki azalma kuarternize CMC'nin karakteristik yapısından kaynaklanmaktadır. Karboksimetil fonksiyonel grupları hidrojen bağı oranını arttırmakta aynı zamanda polar yüzeylerin elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum daha yüksek hidrofillik karakter ile sonuçlanmaktadır (Han ve ark., 2013).

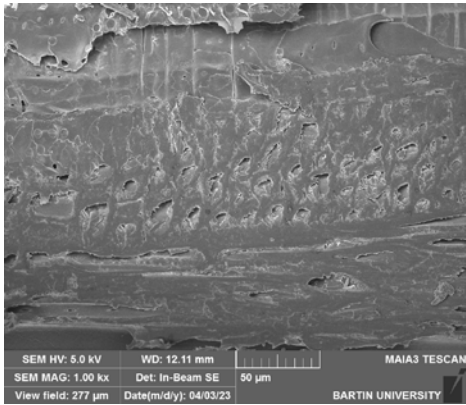
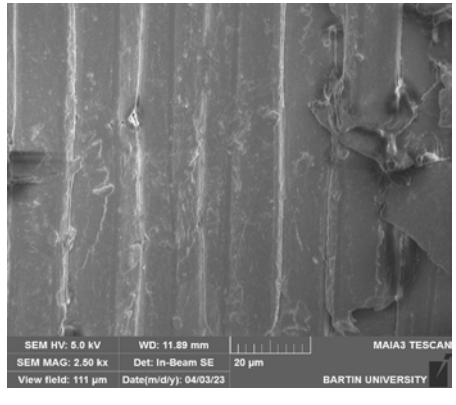
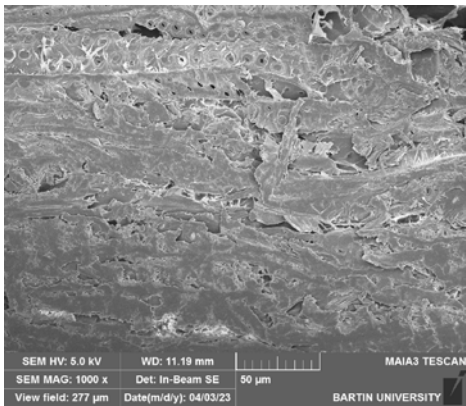
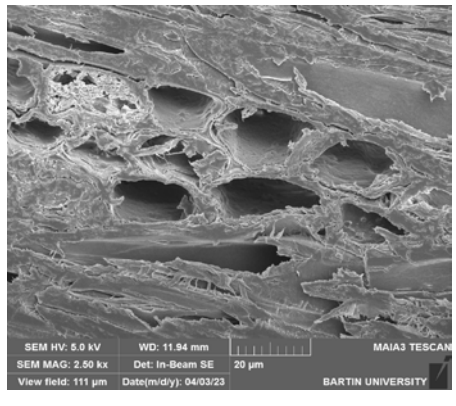
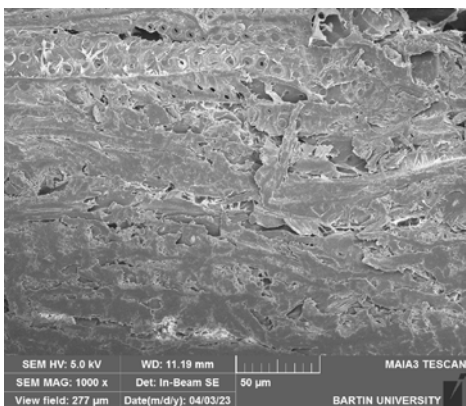
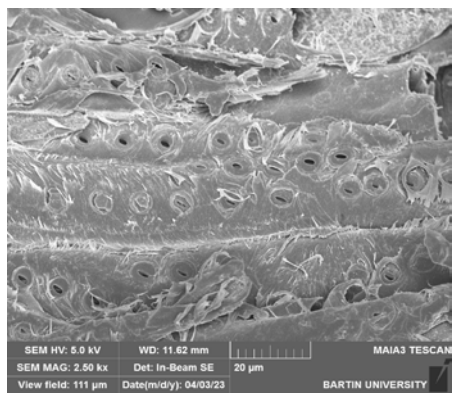
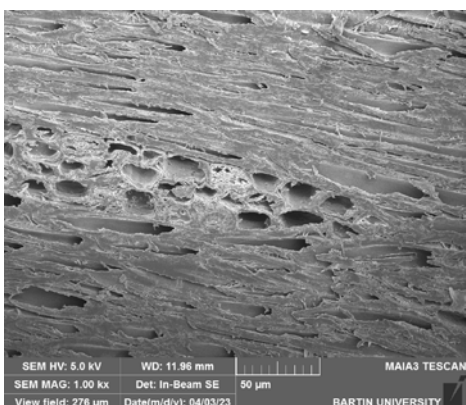
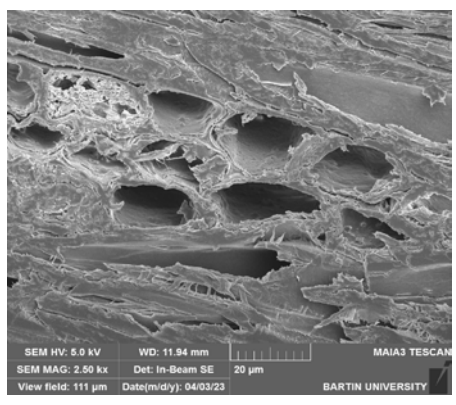


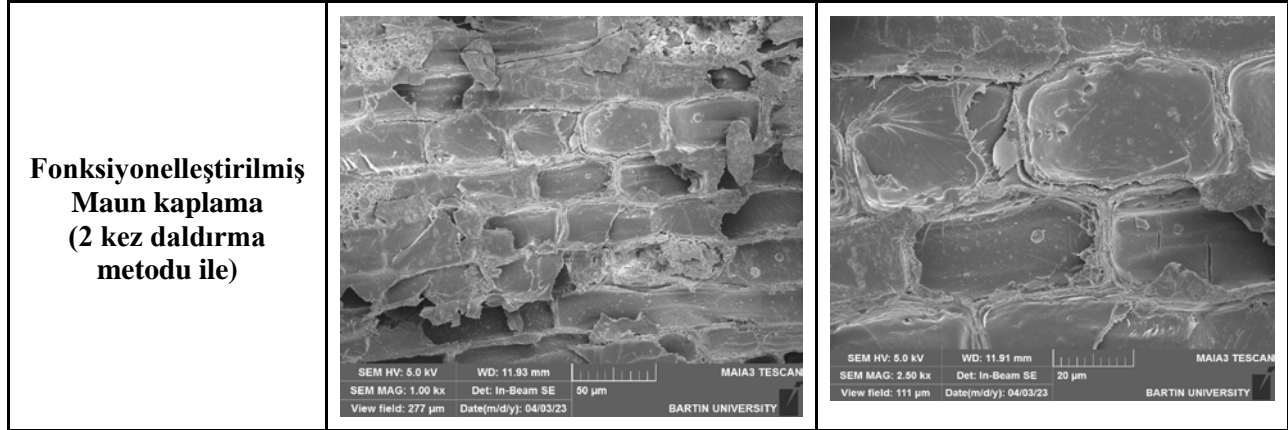
Şekil 2. Numunelerin temas açıları

3.3. Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların morfolojisi

Fonksiyonelleştirilmiş ahşap kaplamaların morfolojisi SEM tekniği ile incelenmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Emprenye edilmemiş ahşap kaplamaların görüntüleri incelendiğinde, hücre lümenlerin boş olduğu görülmektedir. Diğer taraftan, kuarternize CMC ile emprenye edilmiş ahşap kaplamaların görüntülerinden hücre lümenlerinin dolduğu açıkça görülmektedir. Sonuç olarak SEM görüntüleri daldırma metodu ile emprenye işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini görülmektedir.



<p>Fonksiyonelleştirilmiş Kayın Kaplama (2 kez daldırma metodu ile)</p>		
<p>Meşe kaplama</p>		
<p>Fonksiyonelleştirilmiş Meşe kaplama (2 kez daldırma metodu ile)</p>		
<p>Maun kaplama</p>		



Şekil 3. Numunelerin SEM görüntüleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada kuarternize karboksimetil selüloz (CMC) bazlı ahşap kaplamaların antimikrobiyal ve yüzey özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için ilk olarak kuarternize CMC sentezlenmiş ve farklı ahşap kaplamalara kuarternize CMC içeren çözeltiler daldırma metodu ile emprenye edilmiştir. Antimikrobiyal aktivite test sonuçları kuartineze CMC'nin ahşap kaplamalara antimikrobiyal özellik kazandırdığını göstermiştir. Temas açısı sonuçları kuartineze CMC'nin ahşap kaplamalara hidrofilik karakter kazandırdığını göstermiştir. Kuarternize CMC'nin ahşap kaplamalarının hücre lümenlerini doldurduğu SEM görüntüleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak sentezlenen kuarternize CMC'nin farklı ahşap kaplamalara başarıyla emprenye edildiği ve ahşap kaplamalara antimikrobiyal özellik ve hidrofilik özellik kazandırdığı belirlenmiştir.

Yazar Katkıları

Mustafa ZOR: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Ferhat ŞEN: Çalışmayı planlamış, tasarlamış, deney-analizleri gerçekleştirmiş ve makaleyi yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Atar, M. (2006). Melamin reçineli kağıtla kaplanmış yonga levhanının çeşitli malzeme ve tutkallarla yüz yüze yapışma direnci. *Politeknik Dergisi*, 9, 319-324.
- Beims, R.F., Arredondo, R., Carrero, D.J.S., Yuan, Z., Li, H., Shui, H., Zhang, Y., Leitch, M. ve Xu, C.C. (2022). Functionalized wood as bio-based advanced materials: Properties, applications, and challenges, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112074. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112074>
- Chen, C., Zhang, Y., Li, Y., Dai, J., Song, J., Yao, Y., Gong, Y., Kierzewski, I., Xie, J. and Hu, L. (2017). All-wood, low tortuosity, aqueous, biodegradable supercapacitors with ultra-high capacitance. *Energy & Environmental Science*, 10, 538-545. <https://doi.org/10.1039/C6EE03716J>
- Eroğlu, E. (2020). In vitro 3D spheroid culture developed on the parafilm surface using HEK-293 Cells. *Academic Perspective Procedia*, 3, 220-227. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.48>
- Han, B., Dalun Z., Ziqiang S., Linlin K. ve Shaoyi L. (2013). Preparation and characterization of cellulose acetate/carboxymethyl cellulose acetate blend ultrafiltration membranes. *Desalination*, 311, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.11.002>
- İstek, A., Aydemir, D. ve Aksu, S. (2010). The effect of decor paper and resin type on the physical, mechanical, and surface quality properties of particleboards coated with impregnated decor papers. *BioResources* 5, 1074-1083.

- İstek, A., Muğla, K ve Yazıcı, H. (2015). Mobilya üretiminde kullanılan ticari mdf levhaların özellikleri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14, 333-343.
- Keskin, H. ve Tekin, A. (2011). Abrasion resistances of cellulosic, synthetic, polyurethane, waterborne and acid-hardening varnishes used woods. *Construction and Building Materials*, 25, 638-643. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.028>
- Krystofiak, T., Can, A. ve Lis, B. (2022). Investigation of roughness and adhesion strength properties of pine and poplar wood heat treated in air and under vacuum after artificial aging. *Coatings*, 12, 1910. <https://doi.org/10.3390/coatings12121910>
- Liu, Y., Yang, H., Ma, C., Luo, S., Xu, M., Wu, Z., Li, W. Ve Liu, S. (2020). Luminescent transparent wood based on lignin-derived carbon dots as a building material for dual-channel, real-time, and visual detection of formaldehyde gas. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12, 36628-36638. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.05.008>
- Mantanis, G.I. (2017). Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: a review of the present scaled-up Technologies. *Bioresources*, 12, 4478-4489. <https://doi.org/10.33793/acperpro.03.01.48>
- Nemli, G. (2003). Sentetik laminat endüstrisi. *KTÜ Orman Fakültesi Yayınları*. Ders 71, 110.
- Podgorski, L., De Meijer, M. ve Lanvin, J.D. (2017). Influence of coating formulation on its mechanical properties and cracking resistance. *Coatings*, 7, 163. <https://doi.org/10.3390/coatings7100163>
- Pour, Z.S., Makvandi, P. ve Ghaemy, M. (2015). Performance properties and antibacterial activity of crosslinked films of quaternary ammonium modified starch and poly(vinyl alcohol), *International Journal of Biological Macromolecules*, 80, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.008>
- Sandberg, D., Kutnar, A. ve Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 10, 895-908. <https://doi.org/10.3832/ifer2380-010>
- Šimkovic, I., Gucmann, F. ve Hricovíni, M. (2023). Properties of quaternized and crosslinked carboxymethylcellulose films. *Cellulose*, 30, 2023-2036. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-05031-5>
- Song, J., Chen, C., Zhu, S., Zhu, M., Dai, J., Ray, U., Li, Y., Kuang, Y., Li, Y., Quispe, N., Yao, Y., Gong, A., Leiste, U.H., Bruck, H.A., Zhu, J.Y., Vellore, A., Li, H., Minus, M.L., Jia, Z., Martini, A., Li, T. ve Hu, L. (2018). Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 554, 224-228. <https://doi.org/10.1038/nature25476>
- Sözen, E. (2022). Determination of changes in the mechanical and color properties of some wood species treated with shellac, *BioResources*, 17, 1703-1716. <https://doi.org/10.15376/biores.17.1.1703-1716>
- Sözen, E. ve Bardak, T. (2021). Determination of species of some wood veneers using machine vision. *Color Research & Application*, 46(6), 1392-1399.
- Taghiyari, H.R., Tajvidi, M., Soltani, A., Esmailpour, A., Khodadoosti, G., Jafarzadeh, H., Militz, H. ve Papadopoulos, A.N. (2021). Improving fire retardancy of unheated and heat-treated fir wood by nanosepiolite. *Holz Rohund Werkst.* 79, 841-849. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01679-1>
- Uppanan, P., Channasanon, S., Veeranondh, S. ve Tanodekaew, S. (2011). Synthesis of GTMAC modified chitin-PAA gel and evaluation of its biological properties. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 98A, 185-191. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.33104>
- Vitas, S., Keplinger, T., Reichholf, N., Figi, R. ve Cabane, E. (2018). Functional lignocellulosic material for the remediation of copper(II) ions from water: towards the design of a wood filter. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.015>
- Wei, X., Cai, J., Wang, C., Yang, K., Ding, S., Tian, F. ve Lin, S. (2022). Quaternized chitosan/cellulose composites as enhanced hemostatic and antibacterial sponges for wound healing, *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 271-281. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.007>
- Winandy, J.E., Rudie, A.W., Williams, R.S. ve Wegner, T.H. (2008). Integrated biomass technologies: Future vision for optimally using wood and biomass. *Forest Products Journal*, 58, 6-16.
- Xu, J., Jiang, Y., Zhang, T., Dai, Y., Yang, D., Qiu, F., Yu, Z. ve Yang, P. (2018). Synthesis of UV-curing waterborne polyurethane-acrylate coating and its photopolymerization kinetics using FT-IR and photo-DSC methods. *Progress in Organic Coatings*, 122, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.05.008>
- Zhang, H., Guan, G., Lou, T. ve Wang, X. (2023). High performance, cost-effective and ecofriendly flocculant synthesized by grafting carboxymethyl cellulose and alginate with itaconic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 231, 123305, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123305>

Havadaki Metal Kirliliğinin (Ca, Mg, Mn) Tespitinde Kent Merkezindeki Mavi Ladin (*Picea pungens*) Ağacının Yaprak ve Dallarının Biyomonitör Olarak Kullanılabilirliği

Taher Abdulai Alttaher ATEYA¹, Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR², İsmail KOÇ^{3,*}

¹Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mühendislik Ana Bilim Dalı, Kastamonu, Türkiye

²Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Fakültesi, Kastamonu, Türkiye

^{3,*}Düzce Üniversitesi, Ormanlık Meslek Yüksekokulu, Düzce, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 26.11.2022

Kabul: 18.05.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Dünya özellikle son yüzyılda iklim değişikliği, küresel ısınma ve hava kirliliği gibi üç temel problemle karşı karşıya kalmıştır. Artan insan nüfusu daha fazla kentleşme ve endüstrileşme dolayısıyla hava kirliliğe sebep olmaktadır. Çeşitli sebeplerle doğaya salınan ağır metaller havada bulunan partikül maddelere tutunarak gerek insan gerekse de bitkiler için son derece zararlı olabilmektedirler. Bitki büyüme ve gelişmesi için gerekli olan makro ve mikro besin elementleri içerisinde kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) aynı zamanda bir ağır metaldir. Bazı ağır metaller düşük miktarları canlı toplulukları için son derece tehlikeli olmakta iken bitki için gerekli olan besin elementleri de belli eşik değerleri aştıkları zaman bitki için toksik bir etki yapmaktadırlar. Bundan dolayı Ca, Mg ve Mn elementlerinin bitki organlarındaki miktarlarının ve bu konsantrasyonlarının yıllar içerisindeki değişiminin tespiti son derece önemlidir. Ankara Ulus semtindeki bir mavi ladin (*Picea pungens* Engelm.) ağacından alınan dal ve yaprak örneklerinde analizler gerçekleştirilerek, Ca, Mg ve Mn konsantrasyonlarının bitki kısımlarına ve yıllara göre değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonuçları Ca, Mg ve Mn metal konsantrasyonlarının bitki kısımları ve organ yaşına bağlı olarak önemli miktarda farklılaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, *Picea pungens* ağacının dal ve yaprakları ağır metal konsantrasyonlarının izlenmesinde yani biyomonitör olarak kullanımına uygun olduğunu göstermektedir. Çalışmada tercih edilen yöntem, ağacı hayatı bir tehlikeye sokmayan, sürdürülebilir bir metot olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler – Biyomonitör, kalsiyum, magnezyum, mangan, *Picea pungens*

The Usability of Blue Spruce (*Picea pungens*) Tree Leaves and Branches in the City Center as Biomonitors for the Detection of Metal Pollution (Ca, Mg, Mn) in the Air

¹Kastamonu University, Institute of Science, Department of Engineering Management, Kastamonu, Türkiye

²Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Kastamonu, Türkiye

^{3,*}Düzce University, Forestry Vocational School, Düzce, Türkiye

Article History

Received: 26.11.2022


Accepted: 18.05.2023

Published: 15.08.2023


Research Article

Abstract – Especially in the last century, the world has faced three main problems: climate change, global warming, and air pollution. The increasing human population causes air pollution due to more urbanization and industrialization. Heavy metals released into nature for various reasons can harm humans and plants by adhering to particulate matter in the air. Among the macro and micronutrients required for plant growth and development, calcium (Ca), magnesium (Mg), and manganese (Mn) are also heavy metals. While low amounts of some heavy metals are hazardous for living communities, the nutritional elements necessary for the plant also have a toxic effect on the plant when they exceed certain threshold values. Therefore, it is crucial to determine the amounts of Ca, Mg, and Mn elements in plant organs and the change of these concentrations over the years. The changes of Ca, Mg, and Mn concentrations according to plant parts and years were investigated by analyzing branch and leaf samples taken from a Blue spruce (*Picea pungens* Engelm.) tree in the Ulus district of Ankara. The results revealed that Ca, Mg, and Mn metal concentrations differed significantly depending on plant parts and organ age. This result shows that the branches and leaves of *Picea pungens* tree are suitable for monitoring heavy metal concentrations, that is, as a biomonitor. The preferred method in the study can be considered sustainable and does not endanger the tree's life.

Keywords – Biomonitor, calcium, magnesium, manganese, *Picea pungens*

¹  taherateeya1819@gmail.com

²  obayraktar@kastamonu.edu.tr

³  ismailkoc@duzce.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: İsmail KOÇ

1. Giriş

Dünyamız özellikle son yüzyılda küresel iklim değişikliği (Cantürk ve Kulaç, 2021; Chaudhry ve Sidhu, 2021) ile kuraklığın artması ve yağış miktarının azalması (Ogaya ve Peñuelas, 2021; Koç vd., 2022a), ormanlara sosyal baskının artması ve ormansızlaşma (Durkaya vd., 2020; Kaptan vd., 2021), arazi kullanımının değişimi (Aksoy ve Kaptan, 2021; Kaptan, 2021; Kaptan vd., 2022), yanında çevresel kirlilik (hava, toprak, su) (Şahin vd., 2020; Yadav vd., 2021; Kuzmina vd., 2023), kentleşme (Rahman ve Alam, 2021; Khan vd., 2021) ve erozyon, sel ve taşkınlar (Kilicoglu vd., 2021; Dogan vd., 2022) gibi birçok felaketle yüz yüze kalmıştır. Bu felaketlerden öncelikle küresel iklim değişikliği, kuraklık ve kirlilik bitkilerin büyüme, gelişim ve fizyolojisi üzerinde birçok olumsuz etkisi bulunmaktadır (Koç, 2022a). Bu olumsuz durumlara maruz kalan odunsu bitki toplulukları toprakta bulunan ve bitki toplulukları için hayati olan besin elementlerini (mikro ve mikro) su ile hücrelerine alamamakta ve dolayısıyla büyüme ve gelişimleri sekteye uğramaktadır (Mansoor vd., 2021; Koç vd., 2022b; Ullah ve Farooq, 2022).

Bitkiler besin zincirinin üreticiler kısmında yer almasından dolayı yeryüzündeki bütün canlı topluluklarıyla devamlı bir etkileşim içerisinde (Ninkovic vd., 2019; Varol vd., 2022). Bitki toplulukları yaşam döngüleri boyunca güneş ışığını yapraklarındaki klorofil pigmentleriyle absorbe etmekte ve stomaları vasıtasıyla hücrelerine aldıkları karbondioksiti kullanarak diğer canlılar için gerekli olan fotosentezi üretmekle beraber kendileri için de besin maddesi üretmektedirler (Kume vd., 2019; Gur vd., 2021; Koç ve Nzokou, 2022). Buldukları ortamdaki toprak yapısı (Neina, 2019; Shults vd., 2020; Cetin vd., 2022), iklim (yağış ve sıcaklık) (Bell vd., 2020; Koç, 2022b) ve yükselti (Özel vd., 2021) faktörler bitkilerin büyüme ve gelişmesi üzerinde etkilidir. Bitki büyümesi ve gelişimi, bitkinin sahip olduğu genetik yapı (Hrivnak vd., 2017; Housset vd., 2018; Özel vd., 2022) ile çevresel etkenlerin etkileşimi altında oluşmakta (Li vd., 2020; Koç, 2022a; Mu vd., 2022) ve bu sürecin tüm aşamalarında bitki besin elementleri son derece önemli bir rol oynamaktadır (Abdelaal vd., 2021).

Bitkilerin kullandıkları besin elementlerini mikro ve makro olarak sınıflandırılmaktadır. Makro besin elementleri (hidrojen, karbon, oksijen, azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum, fosfor, kükürt) bitki büyüme ve gelişmesinde olması gereken elementler olup, bu elementlerin eksikliğinde bitki büyümesi sekteye uğramaktadır (Çobanoğlu vd., 2022). Macro besin elementlerinin yanında mikro besin elementleri (mangan, demir, çinko, vb. gibi) de bitki büyüme ve gelişmesinde rol oynamaktadırlar.

Kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve mangan (Mn) gibi besin elementleri bitkinin büyüme ve gelişmesi için önemli bir elementler olması yanında (Çobanoğlu vd., 2022) bitki bünyesinde miktarının belli değerlerin üzerine çıkması dolayısıyla bir toksik etki yapmaktadır. Ağır metal olarak sınıflandırdığımız kurşun (Pb), krom (Cr), nikel (Ni) ve civa (Hg) gibi elementlerin düşük miktarları bile canlı organizmalar için toksik ve zararlı birçok etkisi bulunmaktadır (Ghori vd., 2019; Jamla vd., 2021; Isinkalar vd., 2022a; Cobanoglu vd., 2023). Bitki büyüme ve gelişmesi için gerekli olanların makro ve mikro besin elementlerinin bile eşik değerini aşan yüksek dozları canlı organizmalar için toksik etki yapmaktadır (Ghori vd., 2019; Kumar vd., 2021; Yaashikaa vd., 2022). Bu sebepten dolayı bu metallerin su, hava ve toprak içerisindeki miktarının veya konsantrasyonlarının belirlenmesi son derece önemlidir (Isinkalar vd., 2022b).

Birçok kirlenici tarafından (fabrika, egzoz gazları, aşırı gübreleme) doğaya salınan metallerin çökmesi nedeniyle bu kirleniciler bitkilerin çeşitli kısımlarında ve toprakta metal birikimi yapmaktadır. Başta ağır metaller olmak üzere metaller bitkilerin tohumlarının çimlenmesinden başlayıp, büyüme ve gelişmesini, ürün kalitesini, azot döngüsünü, fotosentetik aktiviteyi ve enzim yapısını bozmakta veya sekteye uğratmaktadır (Aydın ve Pakyürek, 2020). Bunların yanında ağır metallerin hem bitkiler hem de insanlar üzerinde birçok zararlı yönleri (alerjik reaksiyonlar, astım, depresyon, kanser gibi) mevcuttur (Mishra vd., 2019). Özellikle son yıllarda meydana gelen hızlı ve kontrolsüz kentleşme, endüstriyel faaliyetler sonucunda çevresel problemlerden en önemlisi olan kirliliği artırmakta (Şahin vd., 2020; Uzun vd., 2022) ve bu metallerin atmosferdeki oranında ciddi artışlara sebep olmuştur (Mariana vd., 2021). Dünya nüfusunun 2050 yılında

yaklaşık %68'i kentsel alanlarda yaşayacağı düşünülürse (United Nations, 2019) bu metallerin havadaki konsantrasyonlarının öncelikle belirlenmesi ve azaltılması hem insan sağlığı hem de çevresel açıdan son derece önemlidir (Çobanoğlu vd., 2022).

Ancak, su ve topraktaki metal konsantrasyonlarının belirlenmesinde doğrudan ölçüm yöntemleri kullanılırken havadaki metal konsantrasyonunun belirlenmesinde pahalı ölçüm aletleri gerektirmesinden dolayı biyomonitörlerden yararlanılmaktadır (Koç, 2021). Bu yöntem ağır metal miktarlarının dönemsel değişiminin izlenmesi konusunda daha güvenilir bilgiler sağlamanın yanında hem ucuz hemde kolaydır. Liken ve yosunlar biyomonitör olarak ilk kullanılan türler olmuştur (Paoli vd., 2018; Chen vd., 2019). Ancak, havadaki değişimin uzun yıllardaki etkisinin belirlenmesinde (metal birikiminin hangi yılda meydana geldiği) yetersiz kalmaktadır (Cetin vd., 2022). Bu sorunu gidermek için özellikle, yetişme ortamındaki iklimsel değişikliklerden dolayı odunsu türlerde meydana gelen yıllık halkalar, ağır metallerin havadaki konsantrasyonlarının belirlenmesinde son yıllarda sıkça tercih edilmektedir (Key vd., 2022). Ancak yıllık halkaların elde edilmesi için bu odunsu bitki veya ağaçların kesilmesi gerekmektedir ve bu durum bitkiye zarar vermektedir (Cetin vd., 2020). Odunsu bitki topluluklarına zarar vermeden havadaki bu metal kirliliğinin tespitinde ağacın dalları ve dalların üzerinde bir yıldan uzun bir süre kalabilen iğne yapraklar kullanılabilir.

Peyzaj açısından ve mavi-yeşil, gümüşü renginden dolayı en çok tercih edilen, yaz kuraklığından ve yağış yetersizliğinden fazla etkilenmeyen, asit yağmurları ve zehirli gazlara toleransı yüksek ve toprak isteği bakımından kanaatkâr tür olması (Vacek vd., 2021) nedeniyle mavi ladin bu çalışmada kullanılmıştır. Bu çalışmada Ca, Mg ve Mn elementinin havadaki konsantrasyonunun son yıllardaki nasıl bir değişim gösterdiğini belirlemek amacıyla, mavi ladin ağacının dal ve yaprakları araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı, Örnek Alımı ve Hazırlanması

Çalışma, 2019 yılında dünya başkentleri arasında en kirli 46 başkenti (18.4 µg/m³) olan (IQAir, 2019) Ankara ili Ulus semtinde Ulus-Kızılay karayolunun kenarında, yola yaklaşık 2 m. mesafedeki bulunan bir mavi ladin ağacın yol tarafına bakan dallarından elde edilen dal ve ibre örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin alındığı ağacın önünden geçen anayol sekiz şeritli bir yol olup gün içerisinde hemen her saatte yoğun bir trafik bulunmaktadır.

Kesilen dal parçaları laboratuvarda yaşlarına göre sınıflandırılmış ve farklı yaşlardan örnekler alınmıştır. Mavi ladin çok yıllık ibreli bir ağaç türü olması dolayısıyla dal ve ibrelerin hangi yıl oluştukları bilinebilmekte diğer bir deyişle yaşları tespit edilebilmektedir. Sınıflandırılan örnekler yaklaşık 1 ay boyunca laboratuvar ortamında hava kurusu haline getirilmiş ve sonrasında 45 °C sıcaklıktaki etüvde 1 ay boyunca kurutulmuştur. Kahve öğütücüsü yardımıyla toz haline getirilen örneklerden 0,5 g alınıp (3 tekrarlı olarak) üzerine 10 ml %65'lik HNO₃ ilave edilmiştir. Daha sonra bu örnekler mikro dalga cihazında 280 PSI basınç altında 180 °C'de 20 dakika yakılmıştır. Soğuyan örnekler bulunduğu balon jojeler üzerine deiyonize su ilave edilerek 50 ml'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 45 µm'lik fitre kâğıttan süzülerek GBC Integra XL – ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma- Optik Emisyon Spektromesi) cihazında uygun dalga boylarında okumalar gerçekleştirilmiştir (Gültekin, 2020). 0,5 gr alınan örnekler 50 ml'ye kadar su ile tamamlandığı için sonuçları 100 ile çarpılıp gerçek değerleri elde edilmiştir. Ca, Mg ve Mn elementleri için dal ve ibrelerden yıl ve organ bazında elde edilen örnekler 3 tekrarlı olarak alınmıştır.

2.2. İstatistiksel Analizler

Ölçümler sonuçları SPSS 21.0 paket programına yardımıyla değerlendirilmiştir. Verilere üzerinde öncelikle Varyans analizi (ANOVA) yapılmış ve ANOVA analizinde anlamlı bulunan faktörler için Duncan testi (alpha=0.05) uygulanmıştır.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında değerlendirilen elementlerin organ bazındaki konsantrasyonları arasında istatistiki olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan ANOVA sonuçları Tablo 1 de gösterilmiştir. ANOVA sonuçlarına göre, mavi ladin ağacının dal ve ibre örneklerinde Mg ve Mn bazında istatistiki olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmişken ($p=0,000$) Ca elementinde anlamlı bir farklılık tespit edilmemiştir ($p=0,773$). Mg ve Mn element konsantrasyonları dallara kıyasla ibre örneklerinde daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 1

Elementlerin organ bazında konsantrasyonlarına ait ANOVA ve Duncan sonuçları

Element	İbre	Dal	F değeri
Ca (ppm)	3255,1	3257,0	0,773 ns
Mg (ppm)	878,3 b	742,3 a	0,000 ***
Mn (ppm)	28,2 b	21,3 a	0,000 ***

Farklı harfler (a, b) her element için bitki kısmındaki farklılıkları göstermektedir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. *** = $p<0.001$.

3.1. Ca Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Ca element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları Tablo 2’de özetlenmiştir. Mavi ladin ağacının dal ve ibrelerindeki Ca konsantrasyonunu 2014 yılı dışında bütün yıllardaki değişiminin istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Ancak yine bazı yıllarda Ca konsantrasyonu dallarda, bazı yıllarda ise ibrelerdeki daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 2013, 2015, 2016 ve 2018 yıllarında ibrelerde, 2017 ve 2019 yıllarında ise dallardaki Ca konsantrasyonunun daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Mavi ladin ağacının dal ve ibrelerindeki Ca konsantrasyonunu 2014 yılı dışında bütün yıllardaki değişiminin istatistiki olarak anlamlıdır ($p<0,05$). Ancak yine bazı yıllarda Ca konsantrasyonu dallarda, bazı yıllarda ise ibrelerdeki daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan ölçümlerde 2013, 2015, 2016 ve 2018 yıllarında ibrelerde, 2017 ve 2019 yıllarında ise dallardaki Ca konsantrasyonunun daha yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Yıllar bazında değişimler incelendiğinde hem dallarda hem ibrelerde Ca konsantrasyonunun yıl bazında değişim miktarı istatistiksel olarak anlamlı ($p<0,0001$) olduğu bulunmuştur. İbrelerdeki ve dallardaki Ca konsantrasyonunun sırasıyla 3248,4 - 3259,6 ppm ve 3227,1 - 3313,9 ppm arasında değiştiği belirlenmiştir. Ancak yıllar bazındaki Ca konsantrasyonları da birbirine oldukça yakındır.

Tablo 2

Ca element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	3242,6 Ab	3252,5 Bb	116,371 ***
2014	3252,3 c	3254 c	3,981 ns
2015	3228,1 Aa	3257,2 Bd	1277,385 ***
2016	3249,3 Ac	3259,6 Be	140,413 ***
2017	3285,9 Bd	3257 Ad	38,457 **
2018	3227,1 Aa	3248,4 Ba	373,237 ***
2019	3313,9 Be	3256,9 Ad	2402,712 ***
F Değeri	264,455 ***	315,989***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$.

3.2. Mg Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Mg element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları [Tablo 3](#)'de özetlenmiştir. Mg konsantrasyonunun dal ve ibrelerdeki değişimi bütün yıllarda istatistiksel olarak farklılık gösterdiği ($p < 0,001$) tespit edilmiştir. Ortalama Mg konsantrasyonları incelendiğinde, 2019 yılı hariç bütün yıllarda dallarda elde edilen Mg konsantrasyonunun ibrelerde elde edilen Mg konsantrasyonundan daha düşük düzeyde olduğu tespit edilmiştir. İbre ve dallardaki ortalama Mg konsantrasyonları arasında en yüksek fark 2017 yılında elde edilmiş olup, 2017 yılında ibrelerde belirlenen Mg konsantrasyonu dallarda belirlenenin yaklaşık 1,89 katıdır.

Tablo 3

Mg element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	867,6 Af	989,7 Bf	2314,2 ***
2014	867,9 Af	925,9 Bc	393,7 ***
2015	615,9 Ab	728,2 Ba	13159,4 ***
2016	845,7 Ae	979,7 Be	2758,7 ***
2017	497,3 Aa	940,7 Bd	104530,3 ***
2018	674,8 Ac	854,2 Bb	11253,1 ***
2019	826,9 Bd	729,5 Aa	90,1 **
F Değeri	1317,4 ***	4896,5 ***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$.

3.3. Mn Element Konsantrasyonunun Yıl Organ Bazında Değişimi

Mn element konsantrasyonunun bitki kısımları ve yıl bazında nasıl bir değişim olduğuna ilişkin analiz (ANOVA ve Duncan test) sonuçları [Tablo 4](#)'de özetlenmiştir. Mn'nin dal ve ibrelerdeki konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$). İbrelerdeki Mn konsantrasyonunun 2019 yılı dışındaki tüm yıllarda dallardakinden daha yüksektir (Tablo 4). Konsantrasyonlar arasındaki en yüksek fark 2018 yılında olup ibrelerdeki Mn konsantrasyonu dallardaki Mn konsantrasyonundan yaklaşık iki kat fazladır.

Tablo 4

Mn element konsantrasyonunun (ppm) yıl ve organ bazında değişimi

Yıl	Dal	İbre	F Değeri
2013	26,3 Ae	34,3 Bf	3444,9 ***
2014	25,5 Ad	29,9 Be	903,2 ***
2015	16,1 Aa	26,5 Bd	5847,2 ***
2016	20,5 Ac	25,3 Bc	10368,0 ***
2017	16,0 Aa	21,9 Bb	3097,6 ***
2018	19,2 Ab	38,7 Bg	14259,4 ***
2019	25,3 Bd	20,9 Aa	195,0 ***
F Değeri	1333,2 ***	3984,4 ***	

Farklı harfler (a, b, c, .vb.) her yıl için bitki kısımlarında veya her bitki kısmında yıllar içinde önemli farklılıkları göstermektedir. Küçük harfler bitki organlarında yıllar arasındaki farklılıkları belirtirken, büyük harfler aynı yıldaki bitki organları arasındaki farkı belirtir. ns: istatistiksel olarak anlamlı değil. *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$.

Mn konsantrasyonunun hem dallarda hem de ibrelerde belirlenen Mn konsantrasyonunun yıl bazında değişimi istatistiki olarak anlamlıdır ($p < 0,001$). Dallarda en düşük Mn konsantrasyonu 16,1 ppm ile 2015 yılında elde edilirken ibrelerde ise en düşük Mn konsantrasyonu 20,9 ppm ile 2019 yılında tespit edilmiştir. Dallardaki en yüksek Mn konsantrasyonu ise 26,3 ppm ile 2013 yılında elde edilirken ibrelerde ise en yüksek Mn konsantrasyonu 38,7 ppm ile 2018 yılında tespit edilmiştir. Genel olarak hem dallarda hem de ibrelerde Mn konsantrasyonu ile yıl arasında bir ilişki olduğunu söylemek oldukça zordur.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bitkiler için gerekli olan besin maddelerinden makro besin elementleri (N, P, K, Ca gibi) bitkiler için tüm yaşam boyunca gereklidir. Mikro besin elementlerinin eksikliğinde ise bitki büyüme ve gelişiminde bazı olumsuzluklar yaşayabilmektedir. Ca elementi bitkilerin büyüme ve gelişmesinden kalite ve verimine kadar olan birçok aşamasında önemli rolü bulunmaktadır (Mossi, 2018; Erdem vd., 2023). Bundan dolayı günümüze kadar süregelen çalışmalarda çoğunlukla gübrelemenin bitkinin kalitesi ve verimi üzerinde durulmuşken (Akladios ve Mohamed, 2018) bu metalin bitkiye olumsuz etkisi üzerine az sayıda çalışma bulunmaktadır (Çobanoğlu vd., 2022).

Bu çalışmada, ibrelerdeki Ca konsantrasyonu genellikle dallardaki konsantrasyondan daha yüksek seviyede olduğu ve Ca konsantrasyonunu yıl bazında çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, yapılan bir çalışmada dallarda tespit edilen Ca konsantrasyon miktarı ibrelere kıyasla 1,41 kat daha fazla bulunmuştur (Mossi, 2018). Oysa başka bir çalışmada, Ca konsantrasyonunun bitki farklı kısımları arasında 10 kat oranında farklılıklar gösterebileceği ifade edilmiştir (Çobanoğlu vd., 2022). Farklı elementlerde de benzer sonuçlara tespit edilmiş olup bu farklılığın bitki türü ve organından kaynaklandığı vurgulanmıştır (Turkyılmaz vd., 2020; Sevik vd., 2020). Bir başka çalışmada, organ yaşı artışının Ca konsantrasyon miktarı ile pozitif bir korelasyona sahip olduğunu bildirmiştir (Cetin vd., 2020).

Bu çalışmada dallardaki Mg konsantrasyonu ibrelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Birçok peyzaj bitkisi organları üzerinde yapılan bir çalışmada Mg konsantrasyonunun bitki organları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır (Sevik vd., 2020). Yapılan bir başka çalışmada ise *Ailanthus altissima* ve *Prunus cerasifera* türlerinin yapraklarında tespit edilen Mg konsantrasyonu *Tilia tomentosa* ve *Eleagnus angustifolia* türlerinden yaklaşık olarak 2 kat daha fazladır (Turkyılmaz vd., 2018). Mavi ladin ağacının dal örnekleri üzerinde yapılan bu çalışmada Mg konsantrasyonu ile yıllar arasında güçlü bir ilişki olduğunu söylemek mümkün değildir. Ancak yapılan bir çalışmada organ yaşı ile Mg konsantrasyonu arasında pozitif bir korelasyon olduğu bildirilmiştir (Çobanoğlu, 2019).

Bu çalışmada mavi ladin ağacının ibre örneklerindeki Mn konsantrasyonunun genel olarak dal örneklerine kıyasla daha yüksek (yaklaşık iki kat) olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara benzer sonuçlar bir başka

çalışmada ortaya konulmuştur ve o çalışmadaki yaprak ve dal arasındaki Mn konsantrasyon farkı 1,99 olarak bulunmuştur (Mossi, 2018). Bir başka çalışmada, Mn konsantrasyonu endüstriyel alanda ortalama Mn konsantrasyonu fıstık çamı ve zakkum bitkisinin yaprak ve odununda arasındaki yaklaşık olarak sırasıyla 6,91 ve 4,56 olarak tespit edilmiştir (Olivia ve Mingorance, 2006). Ancak dört farklı türün yaprakları üzerinde yapılan bir çalışmada Mn konsantrasyonu en yüksek *Eleagnus angustifolia* yapraklarına tespit edilmiş olup türlerinin yaprakları arasında istatistiksel olarak bir farklılık bulunmamıştır (Türkyılmaz vd., 2018). Bu çalışmada dal ve ibre yapraklardaki Mn konsantrasyonu ile yıl arasında bir ilişki bulunamamıştır. Yapılan başka çalışmalarda da benzer şekil de sonuçlar ortaya konulmuştur ve herhangi bir doğru orantı tespit edilememiştir (Alkharam, 2019; Çobanoğlu, 2019).

Bilindiği üzere metaller bitki bünyesine ya topraktan su ile beraber ya da havadan girebilmektedirler. Havadaki partiküllere yapışan metaller öncelikle bitkinin dal ve yapraklarına yapışmakta ve sonrasında bitki bünyesine alınmaktadır. Tutunma yüzeyinin pürüzlü olması havada partikül maddeye tutunmuş durumda bulunan metallerin bu yüzeylere daha kolay tutunmasına dolayısıyla o yüzeylerde daha yüksek konsantrasyonda metal ihtiva etmesine sebep olmaktadır (Koç, 2021; Yayla vd., 2022; Sulhan vd., 2022).

Bitki kısımları üzerinde tespit edilen metal konsantrasyonları hem çevresel kirleticilerin hemde bitkinin test edilen organının yapısıyla ilgilidir. Havada bulunan partikül maddelerine tutunan metaller bitkinin organlarına tutunmakla kalmayıp partikül maddeleri kontamine etmek suretiyle bitki kısımlarındaki metal konsantrasyonlarında bir artışa sebep olmaktadır (Turkyılmaz vd., 2020; Isinkaralar vd., 2022a). Yapılan bir çalışmada, dış kabuktaki metal konsantrasyonun iç kabuğa kıyasla daha yüksek olduğu bildirmiştir (Koç, 2021).

Ağır metallerin bitki bünyesine alınması birbirinden bağımsız gözükse ancak birbirini etkisi olan sayısız faktörün etkileşimi altında şekillendiğini göstermektedir. Bitkilerin farklı kısımlarında bulunan tespit edilen ağır metal konsantrasyonları yani ağır metal biriktirme potansiyelleri, bitki türe yani anatomik yapısı ile doğrudan ilişkilidir (Arıcak vd., 2020).

Bütün fenotipik karakterler gibi bitki metabolizması da çevre koşulları (Mu vd., 2022) ile genetik yapının (Housset vd., 2018) müşterek etkileşimi altında biçimlenmektedir. Dolayısıyla bitkinin metabolik yapısını etkileyen ana faktör olan bitkinin genetik yapısı (Hrivnak vd., 2017) yanında toprak (Neina, 2019; Shults vd., 2020) ve iklim (yağış ve sıcaklık) (Venios vd., 2020; Koç, 2022b) etmenlere ek olarak, bitki orijini, stres seviyesi ve süresi (Seleiman vd., 2021), gübreleme (Abdelaal vd., 2021) gibi dış faktörler bitkilerdeki ağır metal depolanmasına etki etmektedir.

Bundan dolayı öncelikle hangi ağır metalin hangi bitkinin hangi organında daha fazla tutulduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Örneğin yakın geçmişteki ağır metal kirliliğinin izlenmesinde kullanılabilecek türler arasında *Picea*, *Abies*, *Pinus* vb. cinslerin türleri sayılmaktadır. Ancak bu cinslerin bazı türleri üzerinde yapılan bir çalışmada en uygun türün *Picea pungens* olduğu belirlenmiştir (Turkyılmaz vd., 2018).

Çalışma sonuçları Ca, Mg ve Mn metal konsantrasyonlarının bitkinin farklı kısımlarında bulunan organ ve organ yaşına bağlı olarak kayda değer ölçüde değiştiğini ortaya çıkartmıştır. Bu sonuç, türün ibre ve dallarının, ağır metal konsantrasyonlarının izlenmesinde yani biyomonitör olarak kullanımına uygun olduğunu göstermektedir. Çalışmada tercih edilen yöntem, ağacı hayati bir tehlikeye sokmayan, sürdürülebilir bir metot olarak değerlendirilebilir. Bu yöntem *Picea pungens* gibi ibreleri ağaç üzerinde uzun yıllar kalabilen ve organ yaşı doğru olarak tespit edilen bitki türlerinde (*Picea*, *Abies* ve *Pinus*) kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Taher Abdulai Alttaher ATEYA'nın Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda "Kentsel Planlama Çalışmalarında Ağır Metal Kirliliğinin Değişiminin İzlenmesinde *Picea pungens* Engelm.'in Kullanılabilirliği" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları

Taher Abdulai Alttaher ATEYA: Literatür taraması, araştırma, metodoloji, deneyler, yazım.

Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR: İstatistiksel analizler, metodoloji, yazım, kontrol.

İsmail KOÇ: İstatistiksel analizler, yazım, kontrol, düzenleme.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L., & Künstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, 10(6), 520.
- Akladios, S. A., & Mohamed, H. I. (2018). Ameliorative effects of calcium nitrate and humic acid on the growth, yield component and biochemical attribute of pepper (*Capsicum annum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae*, 236, 244-250.
- Aksoy, H., & Kaptan, S. (2021). Monitoring of land use/land cover changes using GIS and CA-Markov modeling techniques: a study in northern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(8), 1-21.
- Alkharam, A.S.A. (2019). *The Opportunities of Abies nordmanniana subsp. equi-trojani (Asc. & Sint. ex Boiss.) Coode & Cullen Species for Usability as biomonitor in monitoring the change of heavy metal concentrations in recent past* (Master's thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Aricak, B., Cetin, M., Erdem, R., Sevik, H., & Cometen, H. (2020). The usability of scotch pine (*Pinus sylvestris*) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Aydın, Ş. D., & Pakyürek, M. (2020). Heavy metal accumulation potential in pomegranate fruits and leaves grown in roadside orchards. *PeerJ*, 8, e8990.
- Cantürk, U., & Kulaç, Ş. (2021). The effects of climate change scenarios on *Tilia ssp.* in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(12), 1-15
- Cesur, A., Zeren Cetin, I., Cetin, M., Sevik, H., & Ozel, H. B. (2022). The use of *Cupressus arizonica* as a biomonitor of Li, Fe, and Cr pollution in Kastamonu. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(6), 1-9.
- Cetin, M., Aljama, A. M. O., Alrabiti, O. B. M., Adiguzel, F., Sevik, H., & Zeren Cetin, I. (2022). Using topsoil analysis to determine and map changes in Ni Co pollution. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(8), 1-11.
- Cetin, M., Sevik, H., & Cobanoğlu, O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21816-21825.
- Chaudhry, S., & Sidhu, G. P. S. (2021). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*, 1-31.
- Chen, Y. E., Wu, N., Zhang, Z. W., Yuan, M., & Yuan, S. (2019). Perspective of monitoring heavy metals by moss visible chlorophyll fluorescence parameters. *Frontiers in Plant Science*, 10, 35.
- Çobanoğlu, H., Şevik, H., & Koç, İ. (2022). Havadaki Ca konsantrasyonunun tespitinde ve trafik yoğunluğu ile ilişkisinde yıllık halkaların kullanılabilirliği. *Icontech International Journal*, 6(3), 94-106.
- Cobanoğlu, H., Sevik, H., & Koç, İ. (2023). Do annual rings reveal Cd, Ni, and Zn pollution in the air related to traffic density? An example of the Cedar tree. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(2), 65.
- Çobanoğlu, O. (2019). *The possibilities of using blue spruce (Picea pungens Engelm) as a bio-monitor by measuring the recent accumulation of heavy metals in its leaves* (Master's thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Dogan, S., Kilicoglu, C., Akinci, H., Sevik, H., & Cetin, M. (2022). Determining the suitable settlement areas in Alanya with GIS-based site selection analyses. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.

- Durkaya, B., Kaptan, S., & Durkaya, A. (2020). Socio-economic and cultural sources of conflict between forest villagers and forest; a case study from Black Sea Region, Turkey. *Crime, Law and Social Change*, 74(2), 155-173.
- Erdem, R., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2023). The Change of the Concentrations of B and Na in Some Forest Soils Depending on Plant Species. *Forestist*, (InPress)
- Ghori, N. H., Ghori, T., Hayat, M. Q., Imadi, S. R., Gul, A., Altay, V., & Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(3), 1807-1828.
- Gur, E., Cetin, M., Ozel, H. B., Guney, K., & Sevik, H. (2021). The effect of hormone treatments on germination and seedling characters of sage (*Salvia officinalis* L.) seeds. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 36(2), 62-69.
- Housset, J. M., Nadeau, S., Isabel, N., Depardieu, C., Duchesne, I., Lenz, P., & Girardin, M. P. (2018). Tree rings provide a new class of phenotypes for genetic associations that foster insights into adaptation of conifers to climate change. *New Phytologist*, 218(2), 630-645.
- Hrivnák, M., Paule, L., Krajmerová, D., Kulaç, Ş., Şevik, H., Turna, İ., ... Gömöry, D. (2017). Genetic variation in tertiary relics: The case of eastern-Mediterranean *Abies* (*Pinaceae*). *Ecology and Evolution*, 7(23), 10018-10030.
- IQAir, (2019). 2019 world air quality report: region & city pm2.5 ranking. <https://www.iqair.com/us/world-most-polluted-cities> (2019).
- Isinkaralar, K., Koc, I., Erdem, R., & Sevik, H. (2022a). Atmospheric Cd, Cr, and Zn deposition in several landscape plants in Mersin, Türkiye. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(4), 1-10.
- Isinkaralar, K., Koç, İ., Kuzmina, N. A., Menshchikov, S. L., Erdem, R., & Aricak, B. (2022b). Determination of heavy metal levels using *Betula pendula* Roth. under various soil contamination in southern urals, Russia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(12), 12593-12604.
- Jamla, M., Khare, T., Joshi, S., Patil, S., Penna, S., & Kumar, V. (2021). Omics approaches for understanding heavy metal responses and tolerance in plants. *Current Plant Biology*, 27, 100213.
- Kaptan, S. (2021). Changes in forest areas and land cover and their causes using intensity analysis: the case of Alabarda forest planning unit. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(7), 1-17.
- Kaptan, S., Aksoy, H., & Durkaya, B. (2022). Estimation of uneven-aged forest stand parameters, crown closure and land use/cover using the Landsat 8 OLI satellite image. *Geocarto International*, 37(5), 1408-1425.
- Kaptan, S., Durkaya, A., & Durkaya, B. (2021). Investigation of land cover changes and social pressures in forest areas in Turkey: the case of Drahn Forest Planning Unit. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(23), 1-15.
- Key, K., Kulaç, Ş., Koç, İ., & Sevik, H. (2022). Determining the 180-year change of Cd, Fe, and Al concentrations in the air by using annual rings of *Corylus colurna* L. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(7), 1-13.
- Khan, I., Hou, F., Le, H. P., & Ali, S. A. (2021). Do natural resources, urbanization, and value-adding manufacturing affect environmental quality? Evidence from the top ten manufacturing countries. *Resources Policy*, 72, 102109.
- Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2021). Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(1), 379-388.
- Koç, İ. (2021). Using *Cedrus atlantica*'s annual rings as a biomonitor in observing the changes of Ni and Co concentrations in the atmosphere. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 35880-35886.
- Koç, İ. (2022a). Comparison of the gas exchange parameters of two maple species (*Acer negundo* and *Acer pseudoplatanus*) seedlings under drought stress. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(1), 65-76.
- Koç, İ. (2022b). Determining the near-future biocomfort zones in Samsun province by the global climate change scenarios. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(2), 181-192.
- Koç, İ., & Nzokou, P. (2022). Do various conifers respond differently to water stress? A comparative study of white pine, concolor and balsam fir. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(1), 1-16.

- Koç, İ., Cantürk, U., & Çobanoğlu, H. (2022b). Changes of plant nutrients K and Mg in several plants based on traffic density and organs. *Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences*, 8(1), 54-59.
- Koç, İ., Nzokou, P., & Cregg, B. (2022a). Biomass allocation and nutrient use efficiency in response to water stress: insight from experimental manipulation of balsam fir, concolor fir and white pine transplants. *New Forests*, 53(5), 915-933.
- Kumar, A., Jigyasu, D. K., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Shabnam, A. A., Cabral-Pinto, M. M. S., ... Bhatia, A. (2021). Nickel in terrestrial biota: Comprehensive review on contamination, toxicity, tolerance and its remediation approaches. *Chemosphere*, 275, 129996.
- Kume, A., Akitsu, T., & Nasahara, K. N. (2018). Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems? *Journal of Plant Research*, 131(6), 961-972.
- Kuzmina, N., Menshchikov, S., Mohnachev, P., Zavyalov, K., Petrova, I., Ozel, H. B., ... & Sevik, H. (2023). Change of Aluminum Concentrations in Specific Plants by Species, Organ, Washing, and Traffic Density. *BioResources*, 18(1), 792-803.
- Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 148, 80-89.
- Mansoor, S., Kour, N., Manhas, S., Zahid, S., Wani, O. A., Sharma, V., ... Ahmad, P. (2021). Biochar as a tool for effective management of drought and heavy metal toxicity. *Chemosphere*, 271, 129458.
- Mariana, M., HPS, A. K., Mistar, E. M., Yahya, E. B., Alfatah, T., Danish, M., & Amayreh, M. (2021). Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102221.
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. In *environmental biotechnology: for sustainable future* (pp. 103-125). Springer, Singapore.
- Mossi, M.M.M (2018). *Determination of heavy metal accumulation in the some of landscape plants for shrub forms* (PhD. thesis). Access address: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Mu, Q., Guo, T., Li, X., & Yu, J. (2022). Phenotypic plasticity in plant height shaped by interaction between genetic loci and diurnal temperature range. *New Phytologist*, 233(4), 1768-1779.
- Neina, D. (2019). The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 5794869, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.
- Ninkovic, V., Rensing, M., Dahlin, I., & Markovic, D. (2019). Who is my neighbor? Volatile cues in plant interactions. *Plant Signaling & Behavior*, 14(9), 1634993.
- Ogaya, R., & Peñuelas, J. (2021). Climate change effects in a Mediterranean forest following 21 consecutive years of experimental drought. *Forests*, 12(3), 306.
- Oliva, S. R., & Mingorance, M. D. (2006). Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. *Chemosphere*, 65(2), 177-182.

Dikimle Yetiştirilmiş Kayın Meşcerelerinde, Aralamanın Mikrobiyal Biyokütle Karbon ve Toprak Solunumuna Etkileri

Abdurrahman SEMERCİOĞLU¹, Filiz YÜKSEK^{2,*}, Ömer KARA³, Arzu AYGÜN⁴,
Arife SAYLAM⁵, Selvinaz YILMAZ⁶

¹Orman Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Ormanlık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Trabzon, Türkiye

^{2,*}Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Rize, Türkiye

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

⁴Orman Genel Müdürlüğü, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Trabzon, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 17.01.2023

Kabul: 14.07.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Toprak solunumu atmosfere verilen karbondioksitin (CO₂) önemli bir kaynağı olup küresel ısınma bakımından önemli bir ekosistem sürecidir. Yapılan ormancılık uygulamaları bu süreci önemli derecede etkileyebilmektedir. Bu çalışmada; Trabzon’da Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ağaçlandırma alanında farklı aralama derecelerinin ve mevsimlerin, mikrobiyal biyokütle karbon, bazal solunum ve toprak solunumuna etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı aralama şiddetinde (%25 ve %40) ve kontrolde, üç tekrerr ile toplam dokuz deneme alanı oluşturulmuştur. Ölçümlere bir yıl boyunca devam edilmiştir. Sonuçlar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ortalama toprak mikrobiyal biyokütle C içerikleri; %25 aralama yapılan parselde 469,57 µg/g, kontrol parselinde 478,73 µg/g ve %40 aralama yapılan parselde 541,06 µg/g olarak bulunmuştur. ANOVA sonuçları %40 aralama parsellerindeki mikrobiyal biyokütle C içeriklerinin kontrol ve %25 aralama yapılan parsellerden anlamlı oranda yüksek olduğunu göstermektedir. Mikrobiyal biyokütle C içerikleri yaz mevsiminde diğer mevsimlerden anlamlı oranda yüksektir. Kontrol ile aralama yapılan topraklar arasında bazal solunum ve toprak solunumu değerleri bakımından anlamlı bir fark belirlenmemiştir. Buna karşılık bazal solunum ve toprak solunumu mevsimlere göre anlamlı oranda değişim göstermiştir. Çalışma alanında su açığı olmadığı için değişimlerin nem yetersizliğinden çok, sıcaklık tarafından belirlendiği düşünülmektedir. Yapılan %25 aralama şiddeti karbon yönetimi açısından bakıldığında topraktaki karbon salımında anlamlı fark yaratacak düzeyde değildir. %40 oranında yapılan aralamada da CO₂ salımını yönünden yapılan müdahalenin mikrobiyal biyokütleyi olumlu yönde teşvik ettiği, topraktaki CO₂ salımını ise anlamlı düzeyde değiştirmedeği tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu yörede kayın plantasyonlarında yapılan bu aralama çalışmalarının önemli ölçüde karbon salımına neden olmadığı, mikrobiyal biyoması teşvik ettiği için toprak sağlığı açısından yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Aralama şiddeti, bazal solunum, *Fagus orientalis* L., mikrobiyal biyokütle C, toprak solunumu

Effects of Thinning on Microbial Biomass Carbon and Soil Respiration in Beech Plantations

¹Directorate of Eastern Black Sea Forestry Research Institute, General Directorate of Forestry, Trabzon, Türkiye

²Faculty of Engineering and Architecture, Recep Tayyip Erdogan University, Rize, Türkiye

³Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye

⁴Trabzon Forest Enterprise Directorate, Trabzon Regional Directorate of Forestry, General Directorate of Forestry, Trabzon, Türkiye

Article History


Received: 17.01.2023


Accepted: 14.07.2023


Published: 15.08.2023


Research Article

Abstract – Soil respiration is an important source of carbon dioxide (CO₂) released into the atmosphere and is an important ecosystem process in terms of global warming. Forestry practices can significantly affect this process. In this study; the effects of different thinning intensities and seasons on microbial biomass carbon (C), basal respiration and soil respiration were investigated in the oriental beech (*Fagus orientalis* L.) plantation area in Trabzon. For this purpose, a total of nine plots were established with three replications at two different thinning intensities (25% and 40%) and control. Measurements made for one year. As a result of the study, the mean soil microbial biomass C contents; It was found to be 469.57 µg/g in the 25% thinning plots, 478.73 µg/g in the control plots and 541.06 µg/g in the 40% thinning plots. ANOVA results show that soil microbial biomass C content in 40% thinning plots was significantly higher than control and 25% thinning plots. Microbial biomass C contents were significantly higher in summer than in the other seasons. There was no significant difference between the control and the soils of thinned plots in terms of microbial respiration and soil respiration values. On the other hand, basal respiration and soil respiration showed significant changes according to the seasons. Since there was no water deficit in the study area, it


¹  asemercioglu@ogm.gov.tr

²  filiz.yuksekk@erdogan.edu.tr

³  okara@ktu.edu.tr

⁴  arzuaygun@ogm.gov.tr

⁵  arifesaylam@outlook.com

⁶  selvinazyilmaz@ogm.gov.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Filiz YÜKSEK



was thought that the changes were determined by soil temperature rather than soil moisture limitation. In terms of carbon management, 25% thinning intensity was not at a level to make a significant difference in carbon emissions from the soil. When we look at the CO₂ release in the 40% thinning, it has been determined that the intervention promoted microbial biomass positively, but did not significantly change the CO₂ release in the soil. Therefore, it was concluded that these thinning intensities in beech plantations in this region did not cause significant carbon emissions and were beneficial for soil health as they enhanced microbial biomass.

Keywords – *Thinning intensities, basal respiration, Fagus orientalis L., microbial biomass C, soil respiration*

1. Giriş

Ormanlar karasal ekosistemler içinde önemli bir karbon yutağıdır ve küresel karbon (C) döngüsünde önemli bir rol oynar (Pan vd., 2011). Atmosferdeki karbondioksit (CO₂) döngüsünün yaklaşık olarak %10'u toprak aracılığıyla meydana gelir. Bu miktar fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan CO₂'in 10 katından bile fazladır (Reichstein ve Beer, 2008). Bu da özellikle toprak solunumu ile topraktan atmosfere önemli bir miktarda CO₂ salımını meydana geldiği (Bond-Lamberty ve Thomson, 2010) anlamına gelmektedir.

CO₂ salımını; bitki örtüsü özellikleri, mikrobiyal aktivite, toprak organik C içeriği, toprak sıcaklığı ve nem, toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi birçok faktör tarafından kontrol edilmektedir (Drewitt vd., 2002; Franzluebbers vd., 2002). Başta aralama kesimi olmak üzere pek çok silvikültürel müdahaleler, bu faktörleri etkilediğinden, karbon döngüsünde önemli rol oynarlar. Aralama, toprak işleme, gübreleme gibi ormancılık uygulamaları da toprakta tutulan karbon miktarını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Tolunay ve Çömez, 2007). Özellikle aralamalar sonucu kırılan meşcere kapalılığı; toprak içindeki mikro iklimi, toprağa ulaşan organik madde miktarını ve kalitesini değiştirdiğinden (Wic Baena vd., 2013), meşceredeki ölü örtü miktarını azalttığı ve ayrışmayı hızlandırdığından genel olarak topraktaki organik madde içeriğini düşürebilmektedir (Jandl vd., 2007). Ancak bazı araştırmalarda aralama çalışmaları sonucunda, çıkarılan ağaçlara ait ölü köklerin ayrışması ve meşcere altına gelen diri örtünün toprak organik karbon içeriğini artırdığını da belirtilmektedir (Selig vd., 2008). Aralamalar sonucu bitki örtüsünde meydana gelen farklılıklar; toprağa ulaşan besin maddelerinin miktar ve kalitesini değiştirmekte ve böylece mikrobiyal aktiviteyi ve bileşimini de etkileyebilmektedir (Kominoski vd., 2009; Shi vd., 2011).

Mikrobiyal çeşitlilik ve biyokütlenin aralamalara tepkisini ortaya koyan mevcut araştırma sonuçları da birbirinden farklılık içermekte ve yetersiz sayıdadır. Bazı araştırmalar, aralamanın MBC (Mikrobiyal Biyokütle Karbonu) ve MBN'yi (Mikrobiyal Biyokütle Azotu) azalttığını (Thibodeau vd., 2000), bazıları ise arttığını (Bolat, 2014) veya değiştirmediklerini ifade etmektedirler (Barg ve Edmonds, 1999; Giaı ve Boerner, 2007; Schilling vd., 1999). Bazı araştırmalarda; toprak neminin toprak solunumundaki en sınırlandırıcı faktör olduğu ve toprak solunumu ile toprak neminin benzer eğilim gösterdiği tespit edilirken (Akburak ve Makineci 2013), aylık yağışın 2 cm geçtiği yerlerde yağışın solunum üzerindeki etkisinin azaldığı ve artık CO₂ akışında sıcaklığın yağıştan daha etkili olduğu ifade edilmektedir (Raich ve Potter, 1995). Dolayısıyla meşcerenin sağlıklı olmasını sağlamak ve dayanıklılığını arttırmak için yapılması gereken bir silvikültür faaliyeti olan aralamanın; ölü örtü miktarı ve kalitesi ile toprak solunumuna etkisini araştırmak, karbon yutakları ile yapılacak planlamalarda verilecek kararların isabetli olmasına da katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü, Vakfikebir Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki Doğu kayını ağaçlandırma alanında farklı aralama derecelerinin ve mevsimlerin, mikrobiyal biyokütle karbon, bazal solunum ve toprak solunumuna etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucu; ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesinde oldukça geniş alanlarda endüstriyel ağaçlandırmaları kurulan ve aralama çağına gelmiş kayın ağaçlandırmalarında, karbona dayalı yapılacak uygulamalara ışık tutacaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

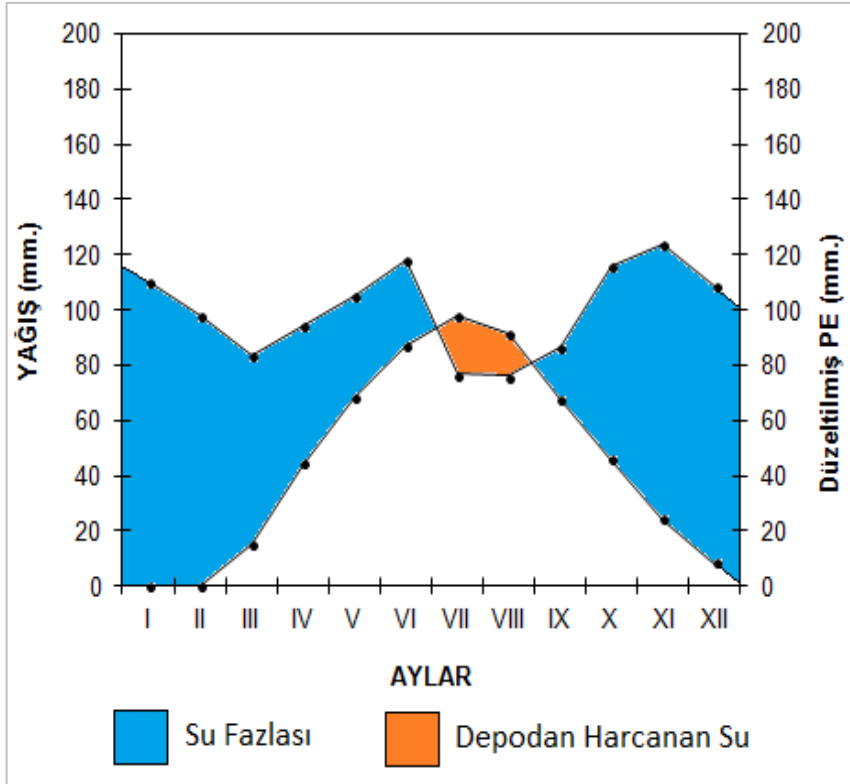
Vakfikebir İşletme Şefliği sınırları içerisinde bulunan deneme alanları; aralama yapılmadan önce hiçbir müdahale görmemiş, normal kapalılıkta ve sıriklık çağına gelmiş doğu kayını plantasyon alanlarından seçilmiş olup 40°58'05" K – 39°23'20" D ile 40°57'58" K – 39°23'13" D koordinatları arasında bulunmaktadır. Çalışma alanı Trabzon Orman İşletme Müdürlüğü, Vakfikebir Orman İşletme Şefliği, 173 nolu bölmenin içerisinde yer almaktadır. Bölme güneybatı bakıda, %55 eğimli, 1340 m yükseltiye sahip olup, alanı 15 ha'dır ve 1986 yılında tesis edilmiştir. Meşcerelerin aralama öncesi aritmetik orta çap (AOÇ), göğüs yüzeyi orta ağaç çapı (GYAÇ), meşcere orta boyu, göğüs yüzeyi alanı (GY) verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Aralama öncesi bazı meşcere özellikleri

Aralama Şiddeti	Sıklık (adet ha ⁻¹)	AOÇ (cm)	GYAÇ (cm)	Ort. Boy (m)	GY (m ² ha ⁻¹)
Kontrol	2325	11,25	11,79	10,38	26,63
25%	3156	10,34	10,84	10,8	29,77
40%	2931	11,35	11,98	10,7	34,44

Deneme alanının kurulduğu yörenin iklim özelliklerinin belirlenmesinde Trabzon-Tonya meteoroloji istasyonu verileri ve deneme alanlarının iklim tipinin belirlenmesinde Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır (Şekil 1). Buna göre araştırma alanının iklim tipi "A C'2 r b'4" sembolü ile gösterilen çok nemli, düşük sıcaklıkta (mikrotermal), su noksanı olmayan veya pek az olan, okyanus iklimine yakın olarak belirlenmiştir (Yılmaz, 2016). Kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsiminde ortalama sıcaklıklar sırasıyla 0, 43°C, 6,53°C, 14°C, 8,57°C olarak değişirken; 1197,8 mm olan toplam yağış miktarı yine mevsimlere göre ortalama olarak kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar için sırasıyla 316,8 mm, 283,4 mm, 271,3 mm, 326,3 mm olarak gerçekleştiği görülmektedir. Sahada su noksanının olmadığı tespit edilmiştir, ancak temmuz ve ağustos aylarında potansiyel evapotranspirasyon yağıştan karşılanamadığı için toprakta depo edilen sudan yararlanılmaktadır (Şekil 1; Yılmaz, 2016).



Şekil 1. Deneme alanının iklim diyagramı (Yılmaz, 2016)

Deneme alanında alt tabakada bulunan türler, vejetasyonun en yoğun olduğu yaz mevsiminde Braun Blanquet yöntemine göre saptanmış ve türlerin örtüş bolluk seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den de anlaşılacağı gibi sahada az da olsa otsu (*Fragaria vesca* L., *Poa* sp, *Rubus* sp, *Urtica dioica* L. *plantago* sp) ve odunsu nitelikte (*Rhododendron ponticum* L., *Laurocerasus officinalis* Roemer, *Ilex colchica* Pojark, *Vaccinium arctostaphylos* L., *Sambucus nigra* L. vb.) bir diri örtü mevcuttur.

Tablo 2

Saptanan türlerin Braun Blanquet yöntemine göre örtüş bolluk tablosu

Parsel No	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Türler	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.	Ört.	Top.
<i>Rhododendron ponticum</i> L.	3	4	2	1	3	4	3	2	2	2	3	3	3	4	3	4	3	4
<i>Laurocerasus officinalis</i> Roemer.	2	3			2	3	3	2	1	2	3	3	3	3	2	3	2	3
<i>Ilex colchica</i> Pojark	2	1	2	2	3	4	3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	3	4
<i>Poa</i> sp.	+	1	+	1									+	1				
<i>Rubus</i> sp.	1	1	+	1	2	2			1	1	2	2	3	2			+	1
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	1	1	1	1	2	2	2	2	+	1	1	1	+	1	r	1	+	1
<i>Ornithogalum</i> sp.	3	3																
<i>Fragaria vesca</i> L.	1	1											+	2				
<i>Vaccinium arctostaphylos</i> L.			+	1									+	1			+	1
<i>Taxus baccata</i> L.					+	1												
<i>Sambucus nigra</i> L.							+	1										
<i>Urtica dioica</i> L.									+	1								
<i>Plantago</i> sp.									1	2								
<i>Petasites albus</i> (L.) Gaertn.					1	1												
<i>Festuca</i> sp.											1	2						

Ört.: Örtüş ve Top.: Toplam

Araştırma alanında bulunan deneme parsellerine ait toprak özellikleri Tablo 3'te verilmektedir. Buna göre çalışma alanındaki topraklar kum içeriği yüksek kumlu balçık ve balçıklı kum tekstüründe hafif bünyeli topraklardır. Toprak reaksiyonu asit karakterde olup pH derecesi 4.19 ile 4,63 arasında değişmektedir. Deneme parsellerinde organik karbon içeriği %5,85 ile %9,56 arasında belirlenmiştir. Organik karbon oranı oldukça yüksek olan araştırma alanında C/N oranı 18,73 ile 33,83 arasındadır.

Tablo 3

Deneme parsellerindeki bazı üst toprak özellikleri

Aralama Şiddeti	Toprak Derinliği (cm)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)	pH (H ₂ O)	Organik Karbon (%)	N (%)*	C/N Oranı	Tane Yoğunluğu (g/cm ³)*	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)*	Gözenek Hacmi (%)*
Kontrol	0-10	76,32	14,24	9,44	4,44	9,56	0,47	20,19	1,60	0,72	53,41
	10-20	76,83	12,75	10,43	4,19	5,85	0,23	25,05	2,03	0,76	62,73
%25 Aralama	0-10	81,40	11,37	7,23	4,54	8,80	0,43	20,45	1,64	0,76	53,52
	10-20	83,34	8,55	8,10	4,63	6,57	0,21	31,81	1,91	0,72	61,08
%40 Aralama	0-10	82,08	9,90	8,01	4,39	8,18	0,44	18,73	1,98	0,64	65,52
	10-20	66,18	20,81	13,01	4,20	6,09	0,18	33,83	1,81	0,76	58,26

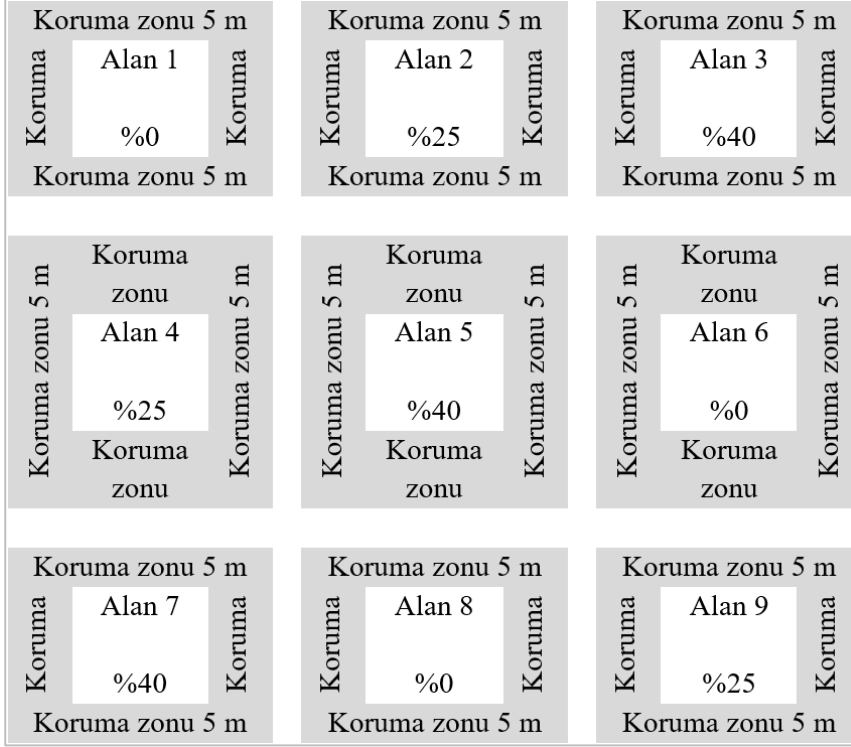
*Değerler (Yılmaz 2016)'dan alınmıştır.

2.2. Yöntem

2.2.1. Deneme Deseninin Kurulması

Meşçerede çıkarılan ağaçların göğüs yüzeyi toplamı birim alandaki göğüs yüzeyi toplamının %25'ini oluşturan aralama mutedil aralama, %40'ını oluşturan aralama ise kuvvetli aralama olarak nitelendirilmiştir. Tüm ağaçlar korunarak, hiçbir müdahale yapılmamış parseller ise kontrol parseli olarak düşünülmüştür. Aralama müdahaleleri uygulanırken kayının biyolojisine uygun olan yüksek aralama yapılmıştır. Yüksek aralama işlemleri literatürdeki gibi seçerek aralama esaslarına göre uygulanmıştır. Her bir deneme parselinde idare amaçlarına uygun, gelişmesi düzgün, dolgun gövdeye ve simetrik bir tepe çatısına sahip 10-12 adet istikbal

ağacı belirlenmiştir. Buna göre biri kontrol olmak üzere iki farklı aralama derecesinde üç tekrarlı olmak üzere toplam 9 deneme alanı (3 aralama şiddeti x 3 tekrar) tesadüf parselleri deneme desenine göre oluşturulmuştur. Her bir parsel 900 m² (30 m x 30 m) büyüklüğünde alınmış olup, aralama işlemi yapılacak parsellerde aralama parsellerin tamamında, ölçümler ise 400 m² (20 m x 20 m) alanda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan alanı çevreleyen 5 m genişliğindeki alan ise izolasyon zonu olarak bırakılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Solunum ölçümleri ve toprak örneklerinin alınacağı alanlara ait deneme deseni

2.2.2. Örnekleme ve Analiz

Toprak solunumu, mikrobiyal solunum ve mikrobiyal karbon için her bir parselde 10 adet örnekleme yapılmıştır. Bu işlem 3 ayda 1 olmak üzere, yılda 4 defa tekrarlanmıştır. Proje sonunda 360 (10 adet X 9 alan X 4 tekrar = 360) mikrobiyal karbon, toprak solunumu ve mikrobiyal solunum değeri elde edilmiştir.

Mikrobiyal Biyokütle (C_{mic}) laboratuvarında kloroform-fumigasyon ekstraksiyon yöntemine göre belirlenmiş (Anderson ve Ingram 1996) ve aşağıdaki formül kullanılarak C μg olarak hesaplanmıştır (Vance vd., 1987; Anderson ve Ingram, 1996).

$$\text{Biyokütle C } (\mu\text{g g}^{-1}) = (B-V) \times N \times 0,003 \times \frac{120 + \theta}{W_t} \times \frac{1000}{V_1} \quad (2.1a)$$

$$E_c = (\text{biyokütle } C_{\text{fumigasyonlu}} - \text{biyokütle } C_{\text{fumigasyonsuz}}) \quad (2.1b)$$

$$\text{Mikrobiyal Biyokütle C} = E_c \times 2,64 \quad (2.1c)$$

Burada; B= Kör için harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) hacmi (ml)

V= Örnek için harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) hacmi (ml)

N= Harcanan demir amonyum sülfatın ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) normalitesi (0,3950 N)

0,003= 3 karbonun (C) ekivalen ağırlığı

θ = Kullanılan 30 gr toprağın higroskopik nemi (%)

Wt = Taze toprak ağırlığı (30 gr)

V1 = Yakma için kullanılan ekstrakt

2,64 = Karbon (C) dönüştürme katsayısı

Mikrobiyal faaliyet (bazal solunum) kapalı bir ortam içerisinde inkübasyon süresince topraktan yayılan CO₂'nin sodyum hidroksit NaOH ile tahmin edilmesiyle belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle laboratuvarında toprak örneklerindeki karbondioksit (CO₂) sodyum hidroksit çözeltisi ile yakalanmış, elde edilen sodyum hidroksit çözeltisinin hidroklorik asit ile titrasyonu sonucu açığa çıkan CO₂ miktarı aşağıdaki eşitlik yardımıyla µg CO₂-Cg⁻¹ (toprak) h⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Rowell, 1994; Alef, 1995).

$$\text{CO}_2 (\mu\text{g}) \text{ SW}^{-1} \text{ t}^{-1} = \frac{(V_0 - V) \times N \times 22 \times 1000}{\text{dwt} \times h} \quad (2.2)$$

Burada; SW = Fırın kurusu toprak ağırlığı (gr)

t = İnkübasyon süresi (saat=h)

V₀ = Titrasyonda kör için harcanan hidroklorik asitin (HCL) hacmi (ml)

V = Titrasyonda örnekr için harcanan hidroklorik asitin (HCL) hacmi (ml)

22 = Çevirme katsayısı (1 ml 1 M Na OH = 22 mg CO₂)

N = Hidroklorik asitin (HCl) gerçek normalitesi

1000 = miligramı mikrograma çevirme katsayısı

dwt = nemli toprağın kuru ağırlığı (gr)

h = İnkübasyon süresi

Toprak solunumunun belirlenmesinde soda lime (soda kireci) metodu kullanılmıştır (Monteith, 1964; Grogan, 1998; Tüfekçioğlu ve Küçük, 2004).

$$\text{Toprak solunumu (gr CO}_2\text{-C/m}^2\text{/gün)} = \frac{\text{tutulan CO}_2}{\text{Alan} / \text{İnkübasyon süresi}} \quad (2.3)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Aralama şiddetinin ve mevsimlerin Mikrobiyal C, mikrobiyal solunum ve toprak solunumu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla; veriler tek yönlü Varyans analizi (One-way ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Analizden önce verilerin normal dağılıp dağılmadığı test edilmiştir. Levene's testi sonucunda varyansların homojen olduğu görüldüğünden ortalamalar Duncan testine göre gruplandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bulgular

Toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle C içeriklerinin aralama şiddetine göre farklılık gösterip göstermediklerini ortaya koyabilmek için yapılan varyans analiz sonuçları, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 4'de verilmiştir. İncelenen üst toprakların aralama şiddetine göre ortalama mikrobiyal biyokütle C içerikleri kontrol parsellerinde 478,73 µg/g, %25 aralama şiddeti uygulanan parsellerde 469,57 µg/g ve %40 aralama şiddeti uygulanan parsellerde 541,06 µg/g bulunmuştur.

Yapılan analiz sonucuna göre; üst toprakların mikrobiyal biyokütle C içeriğinin aralama şiddetine göre farklı (P<0,05) olduğu belirlenmiştir. Duncan testi sonucuna göre %40 aralama şiddeti uygulanan deneme parsellerinin diğerlerinden (Kontrol ve %25 aralama) anlamlı düzeyde daha yüksek mikrobiyal biyokütle C içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4

Aralama şiddetlerine göre üst toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}) içeriklerine ($\mu\text{g/g}$) ait istatistikler

İşlemler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum		Gruplar
Kontrol	120	478,73	245,28	59,90	1281,28		a
%25	120	469,57	201,30	155,89	1050,37		a
%40	120	541,06	254,04	102,02	1166,37	F : 3,297	b
Toplam	360	496,45	236,17	59,90	1281,28	P : 0,038	

Mevsimplere bağlı olarak mikrobiyal biyokütle C'a ait minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Deneme parsellerindeki üst toprakların mevsimlere göre ortalama mikrobiyal biyokütle C içerikleri $396,63 \mu\text{g/g}$ ile $694,57 \mu\text{g/g}$ arasında değişim göstermektedir. Mevsimlere göre değişim anlamlı düzeyde farklılık ($P < 0,05$) göstermiştir.

Tablo 5

Üst toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}) içeriklerinin ($\mu\text{g/g}$) mevsimlere göre değişimine ait istatistiki değerler

Mevsimler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum		Gruplar
Yaz	90	694,57	237,68	233,15	1281,28		a
Sonbahar	90	396,63	165,67	105,42	729,31		b
Kış	90	448,32	225,32	102,02	1231,97		b
İlkbahar	90	446,29	188,75	59,90	1068,10	F : 38,073	b
Toplam	360	496,45	236,17	59,90	1281,28	P : 0,000	

Duncan testi sonuçlarına göre deneme parsellerindeki toprakların yaz mevsiminde diğerlerinden (sonbahar, kış, ilkbahar) anlamlı düzeyde daha yüksek mikrobiyal biyokütle C içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Aralama şiddetine bağlı olarak bazal solunuma ait varyans analiz sonuçları, minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Aralama şiddetine göre ortalama bazal solunum değerleri kontrol parsellerinde $0,561 \mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$, %25 aralama şiddeti uygulanan parsellerde $0,608 \mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$ ve %40 aralama şiddeti uygulanan parsellerde $0,622 \mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$ bulunmuştur.

Tablo 6

Farklı aralama şiddeti uygulanan deneme parsellerindeki bazal solunuma ($\mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) ait istatistiki değerler

İşlemler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum		Gruplar
Kontrol	120	0,561	0,278	0,09	1,47		a
%25	120	0,608	0,298	0,11	1,98		a
%40	120	0,622	0,265	0,06	1,28	F : 1,562	a
Toplam	360	0,597	0,281	0,06	1,98	P : 0,211	

Yapılan varyans analizi sonucunda üst topraklardaki bazal solunumun aralama şiddetine göre fark göstermediği ($P > 0,05$) belirlenmiştir (Tablo 6).

Mevsimplere bağlı olarak belirlenen bazal solunuma ait minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Deneme parsellerindeki üst toprakların mevsimlere göre ortalama bazal solunumu en düşük sonbahar mevsiminde ($0,352 \mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) en yüksek İlkbahar mevsiminde ($0,914 \mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) bulunmuştur. Yapılan varyans analizi sonucunda mevsimlere göre bazal solunum değerlerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p \leq 0,05$).

Tablo 7

Mevsimlere göre deneme parsellerindeki bazal solunuma ($\mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) ait istatistiki değerler

Mevsimler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Gruplar
Yaz	90	0,625	0,22	0,06	1,98	b
Sonbahar	90	0,352	0,11	0,09	0,60	d
Kış	90	0,496	0,16	0,09	1,42	c
İlkbahar	90	0,914	0,23	0,13	1,47	F : 141,401 a
Toplam	360	0,597	0,28	0,06	1,98	P : 0,000

Duncan testi sonucuna göre ise mevsimlere göre toprak bazal solunum değerlerinin hepsinin farklı gruplarda yer aldığını göstermektedir (Tablo 7).

Toprak solunumuna ait varyans analiz sonuçları, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 8’de verilmiştir. Aralama şiddetine göre ortalama toprak solunumu kontrol parsellerinde $1,907 \text{ g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$, %25 aralama şiddeti uygulanan parsellerde $2,058 \text{ g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ve %40 aralama şiddeti uygulanan parsellerde $2,048 \text{ g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$ bulunmuştur. Ancak toprak solunumunda aralama şiddetine göre anlamlı fark ($P>0,05$) belirlenememiştir (Tablo 8).

Tablo 8

Aralama şiddetine göre deneme parsellerindeki toprak solunumuna ($\text{g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) ait istatistiki değerler

İşlemler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Gruplar
Kontrol	120	1,907	0,623	0,51	3,91	a
%25	120	2,058	0,804	0,72	4,56	a
%40	120	2,048	0,769	0,43	3,76	F : 1,594 a
Toplam	360	2,004	0,737	0,43	4,56	P : 0,205

Mevsimlere bağlı olarak belirlenen toprak solunumuna ait varyans analiz sonucu, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Deneme parsellerindeki üst toprakların mevsimlere göre toprak solunumu en düşük kış mevsiminde ($1,207 \text{ g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) en yüksek yaz mevsiminde ($2,707 \text{ g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) bulunmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre mevsimlere göre ortalama toprak solunum değerleri arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiş olup; Duncan testi sonucuna bakıldığında ise her bir mevsim ayrı grupta yer aldığı görülmektedir (Tablo 9).

Tablo 9

Toprak solunumunun ($\text{g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) mevsimlere göre değişimini gösteren istatistiki değerler

Mevsimler	N	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Gruplar
Yaz	90	2,707	0,424	1,74	4,56	a
Sonbahar	90	1,882	0,554	0,80	3,76	F : 144,302 c
Kış	90	1,207	0,473	0,43	3,29	P : 0,000 d
İlkbahar	90	2,221	0,528	0,72	3,89	b
Toplam	360	2,004	0,737	0,43	4,56	

3.2. Tartışma

Toprak organik maddesinin yaşayan parçası olarak adlandırılan mikrobiyal biyokütle (Jenkinson ve Ladd, 1981); toprağın üstünde veya içinde bulunan bitkisel artıklar ile sıcaklık ve nem gibi çevresel faktörlerden oldukça etkilenmektedir. Pek çok araştırmada; mikrobiyal biyokütlenin başta aralama ve hasat kesimleri olmak üzere çeşitli ormancılık faaliyetlerinden oldukça etkilendiği ifade edilmiş olsa da, bu etkinin yönü ve şiddeti ile ilgili farklı sonuçlar bulan çalışmalar mevcuttur. Örneğin Ladd vd. (1985), farklı silvikültür uygulamalarının toprak organik maddesini ve dolayısıyla mikrobiyal biyokütleyi azaltabileceğini ileri sürerken, Entry vd. (1986), sahada kalan artıkların üretimden sonra toprak mikrobiyal biyokütle düzeylerinin

arttığını gözlemlemiştir. Bütün bunlara ek olarak aralanmış ağaçların kök sistemleri toprağın mikrobiyal popülasyonları desteklemek için yarayışlı karbon havuzunu dolayısıyla toprağın kapasitesini arttırabildiği de ifade edilmiştir (Smith ve Paul, 1990). Ayrıca Bolat (2014) tarafından karaçam ormanında yapılan çalışmada; üst toprakların mikrobiyal C içeriklerinin aralama uygulanan sahada 791,35 µg/g, kontrol sahasında 624,78 µg/g olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre; aralama sahasındaki toprak mikrobiyal C miktarının kontrolden %26,6 oranında daha fazla olduğu ve bu artışın aralamaya bağlı olarak değişen yetiştirme ortamı şartlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bizim çalışmamızda da %40 aralama yapılan sahada mikrobiyal biyokütle miktarı anlamlı olarak artış göstermiştir (yaklaşık %13). Kapalılığın kırılması ile meşçere içine daha fazla ışık ve yağış girmektedir. Dolayısıyla meşçere içindeki nem ve sıcaklık koşulları mikroorganizma faaliyetleri için uygun hale gelmektedir. Bu da mikrobiyal biyokütle üzerinde olumlu bir etki yarattığı şeklinde yorumlanabilir.

Araştırma alanı iklim verileri incelendiğinde araştırma alanında yazın dahi su noksanı yoktur (Şekil 1). Bu nedenle toprak sıcaklığı mikrobiyal biyokütle için çok önemli hale gelmektedir. Çoğu araştırmacılar mevsimlere bağlı olarak değişen nem ve sıcaklığın toprakların mikrobiyal biyokütle karbon (C_{mic}) ile ilişkisi olduğunu savunmuştur (Hughes ve Reynolds, 1991; Santruckova, 1992; Diaz-Ravina vd., 1995). Nitekim yaptığımız çalışmada yaz mevsiminde sıcaklığın artmasıyla birlikte mikrobiyal biyokütle karbon içeriğinin de artması bunu doğrulamaktadır.

Ancak bazal solunum yönünden değerlendirme yapıldığında aralama şiddetine göre anlamlı farklılıklara rastlanmamıştır. Aralama ile birlikte mikrobiyal biyokütle C miktarı artsa da mikrobiyal solunum için aralama şiddeti anlamlı değişimler meydana getirmemiştir. Bazal solunum miktarı, mikrobiyal canlıların türüne ve miktarına göre değişim göstermekle beraber toprağın nemi, sıcaklığı, tekstürü ve strüktürü ile alınabilir bitki besin elementlerinin miktarı gibi toprak özellikleri tarafından da etkilenmektedir (Alef ve Nannipieri, 1995). Kapalılık önemli derecede kırılrsa bile kayın tepe çatısını çok erken kapatan bir türdür, buna yazın bu yöredeki oldukça fazla olan sisli gün sayısı da eklenince aralamanın bazal solunuma etkisi azalmış olabilir. Nitekim Özbayram (2018) tarafından yapılan ve kayında aralamamanın yaprak alan indeksine etkisinin araştırıldığı çalışmada, kuvvetli aralama yapılan kayın meşçeresinde yağışın etkisi, ağacın daha fazla tepe tacı yayması ve yaprak üretmesi sonucu yaprak alan indeksinin 3 yıl gibi kısa sürede eski haline geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca Akburak ve Makineci (2016) tarafından yapılan çalışmada da aralamanın topraktaki mikrobiyal solunumu anlamlı derecede etkilemediği görülmüştür. Ancak mevsimlere göre topraktaki mikrobiyal solunumun anlamlı derecede değiştiği görülmüştür. Mevsimlere göre mikrobiyal solunumda meydana gelen değişimler sıcaklık değişimi ve mikrobiyal kompozisyondaki değişimlerle de açıklanabilir. Zira Cregger vd. (2012) yaptığı çalışmada mevsimsel değişimin mikrobiyal biyokütle kompozisyonunda da değişikliğe neden olduğunu ifade edilmiştir.

Toprak solunumu yönünden değerlendirme yapıldığında aralama şiddetine göre anlamlı farklılıklar belirlenmemiştir. Akburak ve Makineci (2016) tarafından yapılan çalışmada; aralamanın ilk yıl toprak solunumunu etkilediği ikinci yıl anlamlı bir farklılığın oluşmadığı görülmüştür. Mevsimlere göre bakıldığında ise yazın toprak solunumu en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Bu mevsimde sıcaklık artışının yanı sıra toprakta su noksanının olmaması mikrobiyal solunumu desteklemektedir. Ayrıca Şekil 1'e baktığımızda temmuz ve ağustos aylarında potansiyel evapotranspirasyon yağıştan karşılanamadığı için toprakta depo edilen sudan yararlanıldığını görmekteyiz. Bu durum topraktaki nem içeriğini azaltmıştır. Topraktaki nem değişimi ve artan sıcaklık bitkinin fizyolojik faaliyetinin dolayısıyla kök solunumunun değişmesine neden olabilmektedir. Nitekim Akburak ve Makineci (2013) tarafından yapılan çalışmada toprak neminin toprak solunumunda en sınırlandırıcı faktör olduğu bildirilmektedir. Ayrıca bu iki araştırmacı toprak solunumunun diri örtüden, kök biyomasından ve toprak sıcaklığından doğrusal olarak etkilendiğini ifade etmişlerdir (Akburak ve Makineci, 2016).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Araştırma sonucumuza göre aralama derecelerinin ve mevsimlerin, toprak mikrobiyal biyokütle C, bazal solunumu ve toprak solunumunu farklı düzeylerde etkilediği tespit edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları %40 aralama parsellerindeki toprak mikrobiyal biyokütle C içeriklerinin (541,06 $\mu\text{g/g}$) kontrol (478,73 $\mu\text{g/g}$) ve %25 aralama yapılan parsellerden (469,57 $\mu\text{g/g}$) anlamlı oranda yüksek olduğunu göstermektedir. Kapalılığın %40 oranında kırılmasıyla meşçere altındaki mikroiklimde meydana gelen olumlu değişim mikrobiyal biyokütle karbon içeriğinin artışı teşvik etmiştir. Çeşitli çalışmalarda, sahada kalan artıkların üretimden sonra toprak mikrobiyal biyokütle düzeylerini arttırdığı belirtilmektedir. %40 aralama yapılan parselde alınabilir organik karbonun, kontrol ve %25 aralama yapılan alana nazaran, daha fazla olabileceği ve kolayca temin edilebilen karbon kaynağının mikrobiyal biyokütleyi teşvik ettiği düşünülmektedir.

Araştırma sonuçları aralamaların bazal solunum ve toprak solunumunda kontrole göre bir artış meydana getirdiğini göstermektedir. Ancak bu artış istatistiki olarak anlamlı değildir. Toprak solunumu mikrobiyal solunum ve kök solunumundan kaynaklanmaktadır. Şiddetli aralama yapılan alanlarda ağaçların çıkarılmasından dolayı kök solunumunun engellenmesi ve buna bağlı olarak toprak solunumunun azalması beklenir. Ancak incelenen alanda toprak solunumunda istatistiki olarak anlamlı olmasa da meydana gelen artış alana gelen diri örtüden kaynaklanan kök solunumu ve organik maddenin ayrışmasından ileri gelebileceği söylenebilir.

Mikrobiyal biyokütle C içerikleri yaz mevsiminde (694,57 $\mu\text{g/g}$) diğer mevsimlerden anlamlı oranda yüksek bulunmuştur. Alanda su açığının olmaması ve sıcaklığın diğer mevsimlere göre mikrobiyal biyomas için daha uygun olması nedeniyle; çalışılan ekosistemde yazın sıcaklığın ve yağışın mikrobiyal biyomas için daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Bazal solunumda özellikle ilkbahar (0,914 $\mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) ve yaz (0,625 $\mu\text{gCO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$) mevsimlerinde bazal solunumun diğer mevsimlerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen mevsimsel farklılığın meşçeredeki sıcaklık, yağış, kapalılık gibi faktörlerin ve mikrobiyal biyomas kompozisyonunun değişiminden kaynaklanabileceği kanaatine varılmıştır. Toprak solunumunda da benzer faktörlerin etkili olduğu buna ek olarak alanda bulunan bitkilerin fizyolojik faaliyetlerinde meydana gelen artışın da solunumu tetikleyebileceği düşünülmektedir. Zira en yüksek toprak solunum değerlerinin yaz (2,707 $\text{g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) ve ilkbahar (2,221 $\text{g C m}^{-2}\text{gün}^{-1}$) mevsimlerinde tespit edilmesi bu görüşü destekler niteliktedir.

Bu yörede kayın plantasyonlarında yapılan bu aralama çalışmalarının önemli ölçüde karbon salımına neden olmadığı, mikrobiyal biyoması teşvik ettiği için toprak sağlığı açısından yararlı olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak bu çalışma bu yaş grubunda ve benzer ekolojik özelliklere sahip alanlar için geçerlidir. Sonuçları genelleştirebilmek için, farklı ekosistemlerde de bu tür araştırmalar çoğaltılmalıdır.

Bilgilendirme

Bu makale, Orman Genel Müdürlüğü Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından yürütülen “Trabzon Vakfıkebir Yöresinde Dikimle Yetiştirilmiş Kayın (*Fagus orientalis* L.) Meşçerelerinde Aralamaların Mikrobiyal Karbon, Toprak Solunumu ve Ölü Örtü Ayrışmasına Etkileri (2013-2018)/03.6405” adlı araştırma projesinden üretilmiştir.

Yazar Katkıları

Abdurrahman SEMERCİOĞLU: Çalışmayı planlamış, arazi çalışmalarında veri toplamış, analiz yapmış ve makalenin düzenlenmesinde katkıda bulunmuştur.

Filiz YÜKSEK: Arazi çalışmalarında veri toplamış, analiz yapmış ve makaleyi yazmıştır.

Ömer KARA: Çalışmayı tasarlamış, analizlerin yapılmasında ve makalenin düzenlenmesinde katkıda bulunmuştur

Arzu AYGÜN: Arazi çalışmalarında veri toplamış ve analiz yapmıştır.

Arife SAYLAM: Arazi çalışmalarında veri toplamış ve analiz yapmıştır.

Selvinaz YILMAZ: Arazi çalışmalarında veri toplamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Alef, K. ve Nannipieri, P. (1995). Soil respiration. *In: Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. eds. K. Alef and P. Academic Press, London, pp. 214–218.
- Akburak, S. ve Makineci, E. (2013). Temporal changes of soil respiration under different tree species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 3349–3358, DOI:10.1007/s10661-012-2795-6
- Akburak S. ve Makineci E. (2016). Thinning effects on soil and microbial respiration in a coppice-originated *Carpinus betulus* L. stand in Turkey. *iForest*, 9, 783-790. DOI:10.3832/ifer1810-009
- Anderson, J. M. ve Ingram, J. S. I. (1996). *Tropical Soil Biology and Fertility A Handbook of Methods*. Second Edition, Cab International Wallingford, UK, 221 pp.
- Barg, A. K. ve Edmonds, R. L. (1999). Influence of partial cutting on site microclimate, soil nitrogen dynamics, and microbial biomass in Douglas-fir stands in western Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 29, 705–713. DOI:10.1139/x99-045
- Bolat, I. (2014). The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. *European Journal of Forest Research*, 133, 131–139. DOI:10.1007/s10342-013-0752-8
- Bond-Lamberty, B. ve Thomson, A. (2010). Global database of soil respiration data. *Biogeosciences* 7(6), 1915–2010. DOI: 10.5194/bg-7-1915-2010
- Cregger, M. A., Schadt, C. W., McDowell, N. G., Pockman, W. T. ve Classena, A. T. (2012). Response of the soil microbial community to changes in precipitation in a semiarid ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology*, 78, 24, 8587–8594. DOI:10.1128/AEM.02050-12
- Diaz-Ravina, M., Acea, M. J. ve Carballas, T. (1995). Seasonal changes in microbial biomass and nutrient flush in forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 19, 220-226.
- Drewitt, G. B., Black, T. A., Nesic, Z., Humphreys, E. R., Jork E. M., Swanson R., Ethier G. J., Griffis T. ve Morgenstern K. (2002). Measuring forest floor CO₂ fluxes in a Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110, 299-317. DOI:10.1016/S0168-1923(01)00294-5
- Entry, J. A., Stark, N. M. ve Loewenstein, H. (1986). Effect of timber harvesting on microbial biomass fluxes in a northern Rocky Mountain forest soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 16, 1076–1081. DOI:10.1139/x86-186
- Franzluebbers, K., Franzluebbers, A. J. ve Jawson, M. D. (2002). Environmental controls on soil and whole-ecosystem respiration from a tallgrass prairie. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 254-262. DOI:10.2136/sssaj2002.0254
- Giai, C. ve Boerner, R. (2007). Effects of ecological restoration on microbial activity, microbial functional diversity, and soil organic matter in mixed-oak forests of southern Ohio, USA. *Applied Soil Ecology*, 35, 281–290. DOI:10.1016/j.apsoil.2006.08.003
- Grogan, P. (1998). CO₂ flux measurement using soda lime: correction for water formed during CO₂ adsorption. *Ecological Society of America*. 79, 4, 1467-1468. DOI:10.1890/0012-9658(1998)079[1467:CFMUSL]2.0.CO;2
- Hughes, S. ve Reynolds, B. (1991). Effects of clear felling on microbial biomass phosphorus in the Oh horizon of an afforested podzol in Mid-Wales. *Soil Use and Management*, 7, 183-188. DOI:10.1111/j.1475-2743.1991.tb00872.x

- Jandl, R., Lindner, M., Vesterdal, L., Bauwens, B., Baritz, R., Hagedorn, F., Johnson, D. W., Minkkinen, K. ve Byrne, K. A. (2007). How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma*, 137, 253–268. DOI:10.1016/j.geoderma.2006.09.003
- Jenkinson, D. S. ve Ladd, J. N. (1981). *Microbial biomass in soil: measurement and turnover*. Pages 415–472 in E. A. Paul and J. N. Ladd, editors. *Soil biochemistry*. Academic Press, Dekker, New York, New York, USA
- Kominoski, J. S., Hoellein, T. J., Kelly, J. J. ve Pringle, C. M. (2009). Does mixing litter of different qualities alter stream microbial diversity and functioning on individual litter species? *Oikos*, 118, 457–463. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2008.17222.x
- Ladd, J. N., Amato, N. ve Butler, J. H. (1985). Decomposition of plant material in Australian soils. I. The effect of quantity added on decomposition and on residual microbial biomass. *Australian Journal of Soil Research*, 21(4), 563–570. DOI: 10.1071/SR9830563
- Monteith, J. L. (1964). *Journal of the Royal Meteorological Society*, 90 (383), 107.
- Özbayram, A. K. (2018). Doğu kayını meşcerelerinde aralamanın yaprak alan indeksine etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20 (3), 590-598. DOI: 10.24011/barofd.437570
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. ve Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333 (6045), 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609
- Raich, J. W. ve Potter, C. S. (1995). Global Patterns of carbon dioxide emissions from soils. *Global Biogeochemical Cycles*, 9, 23–36. DOI:10.1029/94GB02723
- Reichstein, M. ve Beer, C. (2008). Soil respiration across scales: The importance of a model-data integration framework for data interpretation. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(3), 344–354. DOI:10.1002/jpln.200700075
- Rowell, D. L. (1994). *Soil Science Methods and Applications*. Longman Scientific and Technical, Singapore, 350 pp.
- Santruckova, H. (1992). Microbial biomass, activity and soil respiration in relation to secondary succession. *Pedobiologia*, 36, 341-350
- Schilling, E., Lockaby, B. ve Rummer, R. (1999). Belowground nutrient dynamics following three harvest intensities on the Pearl River floodplain, Mississippi. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 1856–1868. DOI:10.2136/sssaj1999.6361856x
- Selig, M. F., Seiler, J. R. ve Tyree, M. C. (2008). Soil carbon and CO₂ efflux as influenced by the thinning of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations on the piedmont of Virginia. *Forest Science*, 54,58–66. DOI:10.1093/forestscience/54.1.58
- Shi, S., Richardson, A. E., O'Callaghan, M., Jones, E. E., DeAngelis, K. M., Stewart, A., Firestone, M. K. ve Condon, L. M. (2011). Effects of selected root exudate components on soil bacterial communities. *FEMS Microbiology Ecology*, 77, 3, 600–610. DOI: 10.1111/j.1574-6941.2011.01150.x
- Smith, J. L. ve Paul, E. A. (1990). *The significance of soil microbial biomass estimations*. In *Soil biochemistry*. Vol. 6. Edited by J.M. Bollag and G. Stotzky. Marcel Dekker, New York. pp. 357–396.
- Thibodeau, L., Raymond, P., Camire, C. ve Munson, A. D. (2000). Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and foliar nutrition. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 (2), 229–238. DOI: 10.1139/x99-202
- Tolunay, D. ve Çömez, A. (2007). Orman topraklarında karbon depolanması ve Türkiye'deki durum, *Küresel İklim Değişimi ve Su Sorunlarının Çözümünde Ormanlar Sempozyumu*, 13- 14 Aralık 2007, İstanbul, 2007.
- Tüfekçioğlu, A. ve Küçük, M. (2004). Soil respiration in young and old oriental spruce stands and in adjacent grasslands in Artvin, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(6), 429-434.

- Wic Baena, C., Andres-Abellan, M., Lucas-Borja, M., Martínez-García, E., GarcíaMorote, F., Rubio, E. ve López-Serrano, F. (2013). Thinning and recovery effects on soil properties in two sites of a Mediterranean forest, in Cuenca Mountain (South-eastern of Spain). *Forest Ecology and Management*, 308,223–230. DOI:10.1016/j.foreco.2013.06.065
- Vance, E. D., Brookes, P. C. ve Jenkinson, D. S. (1987). Microbial biomass measurements in forest soils: The use of the chloroform fumigation-incubation method for strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 19(6), 697–702. DOI:10.1016/0038-0717(87)90051-4
- Yılmaz, S. (2016). *Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky) Plantasyon Alanlarında Farklı Şiddetteki İlk Aralamaların Ağaçların Gelişimi, Toprak ve Ölü Örtü Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi*, Orman Genel Müdürlüğü, Doğu Karadeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Araştırma Projesi, Proje No: 03.1208/2009-2015, 72s.

Farklı Orman Ağaç Türleri Altındaki Toprak Özelliklerinin ve Besin Stoklarının Yükselti, Bakı ve Toprak Derinliğine Göre Değişimi

Temel SARIYILDIZ^{1,*}, Gamze SAVACI²

^{1,*}Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
²Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

Makale Tarihi

Gönderim: 26.02.2023

Kabul: 11.07.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Çalışma toprak makro (C, N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al) besin stoklarına, yükselti, bakı ve ağaç türlerinin etkisini araştırmak için Kastamonu ili Daday ilçesi ormanlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, dört ağaç türünde (sarıçam, karaçam, kayın ve meşe) ve üç toprak derinliğinden (0-10, 10-20, 20-30 cm) olmak üzere iki bakı (güneşli ve gölgeli) ve iki yükselti basamağında (1189 m ve 871 m) örnek alanlar seçilmiştir. Sonuçlara göre, türler arasında en yüksek C (57.7 ton/ha), N (3.32 ton/ha) ve P (0.181 ton/ha) stoku kayın, en düşük meşede (39.7-ton C ha⁻¹; 2.37-ton N ha⁻¹, 0.115-ton P ha⁻¹) bulunmuştur. Ağaç türleri arasında ortalama değerlere göre en yüksek kalsiyum stoku karaçamda (3.64 ton/ha) ve meşede (2.41 ton/ha), en düşük sarıçam (0.73 ton/ha) ve kayında (0.67 ton/ha) tespit edilirken, en yüksek potasyum stoku sarıçamda (3.60 ton/ha), sonrasında kayında (2.92 ton/ha), karaçamda (2.16 ton/ha) ve en düşük meşede (1.03 ton/ha) tespit edilmiştir. Makro besin stoklarının yükselti ile bakıya bağlı olarak önemli değişiklik gösterdiği, fakat değişikliğin yönünün ağaç türü ve besin elementine göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Mikro besin stoklarında farklılıklar genel olarak aynı yönde değişim göstermiştir. Mikro besin stokları üst rakım ve güneşli bakılarda daha yüksek, türler arasında ise sarıçam ve kayında, karaçam ve meşeden daha fazla bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler – Toprak besin stokları, topografya, yapraklı türler, iğne yapraklı türler, bakı

Variation in Soil Properties and Nutrient Stocks Under Different Forest Tree Species with Altitude, Aspect and Soil Depths

¹Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Bursa Technical University, Bursa, Türkiye
²Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kastamonu University, Kastamonu, Türkiye

Article History

Received: 26.02.2023


Accepted: 11.07.2023


Published: 15.08.2023

Research Article

Abstract – The study was conducted to investigate the effects of altitude, slope aspect, and tree species on soil macro (C, N, P, K, Ca, Mg) and micronutrient (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al) concentrations and stocks. Four tree species (Scots pine, black pine, beech, and oak), three soil depths (0-10, 10-20, 20-30 cm), two aspect positions (sunny and shady), and two altitudes (1189 m and 871 m) were considered for this study. The results showed that beech had the highest C (57.7 ton/ha), N (3.32 ton/ha), and P (0.181 ton/ha) stocks and oak had the lowest (39.7-ton C ha⁻¹; 2.37-ton N ha⁻¹, 0.115-ton P ha⁻¹). Among the tree species, the highest calcium stock was found in black pine (3.64 tons/ha) and oak (2.41 tons/ha), the lowest in Scotch pine (0.73 tons/ha) and beech (0.67 tons/ha), while the highest potassium was seen in scotch pine (3.60 tons/ha), followed by beech (2.92 tons/ha), black pine (2.16 tons/ha) and the lowest in oak (1.03 tons/ha). Macronutrient stocks also differed between upper and lower altitudes and shady and sunny aspects, but the direction of the differences varied according to tree species and macronutrient element. Differences in micronutrient stocks were generally in the same direction. Micronutrient stocks were higher in the upper altitudes and sunny aspect position. Among tree species, Scots pine and beech stands had more micronutrient stocks than black pine and oak stands.

Keywords – Soil nutrient stocks, topography, deciduous trees, coniferous trees, aspect

¹  temel.sariyildiz@btu.edu.tr

²  gsavaci@kastamonu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Temel SARIYILDIZ

1. Giriş

Dünya genelinde karasal ekosistemlerde karbon ve azotun biyokimyasal döngüsüne yönelik çalışmalar ağırlık kazanmıştır. Bunun en önemli sebebi, bu iki elementin gaz olarak oksidasyon ürünlerinin (CO₂ ve N₂O) atmosfere salınımının küresel iklim değişikliğinde önemli rol oynamasından kaynaklanmaktadır (Post ve Kwon, 2000). Atmosferde bu iki elementin veya bileşiklerinin artması, öncelikli çalışmaların topraktaki bu iki element üzerine odaklanılmasına neden olmuştur. Bu kapsamda, farklı arazi kullanımının (özellikle orman, mera, tarım) (Tufekcioglu vd., 2003; Singh vd., 2018) ve yetiştirme ortamı faktörlerinin (klimatik, edafik, fizyografik ve bitki türü özellikleri) (Raich vd., 2006; Moser vd., 2007; Salinas vd., 2010; Vieira vd., 2011) karbon ve azotun biyokimyasal döngüsüne, toprak üstü ve toprak altı miktar ve stoklarına etkisini ortaya koymaya yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalarda ortaya çıkan genel sonuç, orman ekosistemlerinin diğer ekosistemlere oranla daha fazla karbon biriktirmesidir (Aitali vd., 2022; Sariyildiz vd., 2022). Ormanlar içinde karbonun depolandığı havuzlar, toprak üstü ve altı biyokütle, ölü-odun, ölü-örtü ve toprak organik karbonudur. Bu havuzlar içinde, orman toprakları çok önemli bir yer tutmaktadır. Orman topraklarında stoklanan karbon miktarı, karasal karbon stokunun, boreal ormanlarda %85'ini, ılıman kuşak ormanlarında %60'ını ve tropikal yağmur ormanlarında %50'sini oluşturmaktadır (Lal, 2005).

Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, organik karbon döngüsünü ve tutulumunda, azotun biyolojik yararlanılmanın kritik bir öneme sahip olduğunun belirlenmesi üzerine, farklı ekosistemlerdeki azot stoklarının miktarları çalışmalara konu edinilmeye başlanmıştır (Feng vd., 2021). Örneğin, düşük C/N oranına sahip bitkiler, daha yüksek C/N oranına sahip olanlardan, daha fazla ayrışma göstermektedir (Sariyildiz ve Anderson 2006; Zhang vd., 2017). Toprak organik maddesinin ayrışma oranının, topraktaki azotun etkinliğiyle pozitif bir ilişki gösterdiği, bu nedenle azot etkinliğinin artması, toprak organik maddesinin ayrışmasını arttırmakta ve toprak organik karbonunun tutulumunu azaltıcı yönde rol oynamaktadır (Zhang vd., 2017). Diğer yünden, azot bitkinin büyümesini ve ölü örtü miktarını arttırarak, toprağa organik karbon girişini arttırmaktadır (Du ve de Vries, 2018). Aynı anda, toprağa azot girişinin, mikrobiyal faaliyetleri azaltarak ve agregat oluşumunu teşvik ederek toprak organik karbonunun ayrışmasını engelleyebilmektedir (Ye vd., 2018).

Bitkilerin büyümesi ve gelişmesinde oldukça önemli bir yere sahip olan diğer makro (P, K, Ca, Mg, S) ve mikro besin (Fe, Mn, Na, Cu, Zn, Al, Cl, B, Mo) elementlerine yönelik benzer çalışmaların ise oldukça sınırlı sayıda kaldığı anlaşılmaktadır (He vd., 2021; Kumar vd., 2021). Türkiye de ise ormanların toprak karbon stoklarına yönelik çok sayıda çalışma bulunurken (bakınız derleme Tolunay ve Çömez 2008; Mısır vd., 2011; Tolunay, 2011; Güner ve Çömez, 2017), toprak azot ve diğer makro ve mikro besin elementleri stokları ve etki eden faktörlere yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Kantarıcı, 1979; Makineci, 1999; Çakır ve Akburak, 2017; Sariyildiz vd., 2022a). Oysa, orman topraklarının baz katyonları ve mikrobeyin elementlerindeki değişiklikleri anlamak, orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliği ve verimliliği üzerinde etki olan faktörleri anlamada ve belirlemede yardımcı olabilmektedir (Richardson vd., 2017). Örneğin, toprakların düşük katyon değişim kapasitesinin ve baz doyumunun geniş ve iğne yapraklı ağaç türlerinin yapraklarının kimyasal bileşimini değiştirdiği ve dönemi içinde bu durumun ölü örtü ayrışmasını etkilediği bildirilmiştir (Sariyildiz vd., 2005). Diğer bir örnek olarak, Amerika'nın kuzeydoğusunda yayılış gösteren yapraklı ağaç türlerinin büyümelerinde ilk sırada yer alan sınırlayıcı faktör, K, Ca ve Mg azlığı olduğu bildirilmiştir (St. Clair vd., 2008; Vadeboncoeur vd., 2014). Kalsiyum ve Mg kaybının ağaçların mineral besinlerini, toprak asitliğini ve toprak baz doyumunu negatif yönde etkilediği ortaya konulmuştur (Johnson vd., 1991; Zetterberg vd., 2016). Kalsiyum ve magnezyuma ek olarak bazı mikro besin elementlerin (Mn, Cu ve Zn) bitkilerin büyümesini azalttığı ya da sınırladığı belirlenmiştir. Örneğin, yapılan çalışmalarda, Mn miktarının sınırlandırılması veya fazlalığının ticari değere sahip olan akçağaç (*Acer saccharum* Marsh) generasyonunu azaltabileceği bildirilmiştir (St. Clair vd., 2008; Bal vd., 2015). Ayrıca, Cu ve Zn ağaçlarda enzim katalizör ve eşetken olarak gerekli mikrobeyin elementleridir (Boardman ve McGuire 1990; Jones, 2012).

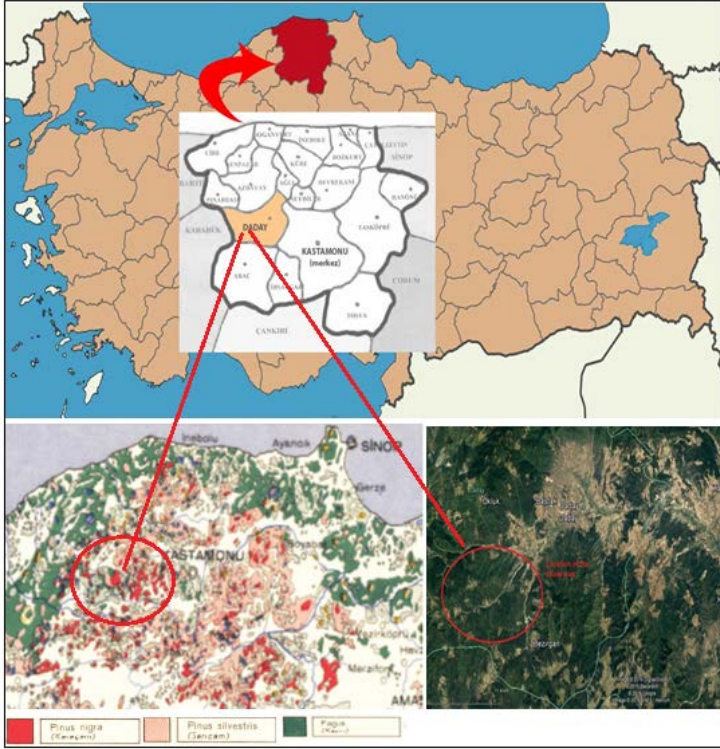
Doğal ekosistemlerinde toprak besin elementlerinin miktarı ve dağılımı üzerinde topografyanın, iklimin, ağaç türünün ve biyolojik faaliyetlerin önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bunlar arasında, topografik faktörler (örneğin, yükselti ve bakı) vejetasyon örtüsünü, yağış miktarını ve sıcaklığı değiştirerek, toprak özellikleri üzerinde negatif veya pozitif yönde etki yapabilmektedir. Türkiye'deki orman ekosistemlerinde toprak özelliklerinin topografik faktörlere bağlı (yükselti, bakı, eğim) değişimini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (örneğin; Sevgi, 2003; Güner, 2006; Dindaroğlu ve Canbolat, 2017; Özdemir, 2019). Fakat bu çalışmalarda genel olarak toprağın bazı fiziksel (örneğin tekstür, strüktür, hacim ağırlığı vd.) ve kimyasal özelliklerine (örneğin, pH, EC, KDK, Baz doygunluğu, organik madde) ait değişimler ortaya konulmuş, son yıllarda ise küresel iklim değişikliğinde etkisi yüksek olması nedeniyle toprak karbon ve belli oranlarda azot miktarlarının ortaya konulmaya çalışılmıştır. Oysa diğer makro ve mikro besin elementlerinin topraktaki miktar ve stokları üzerinde ağaç türlerinin ve topografik faktörlerin Ülkemiz Orman ekosistemlerindeki etkilerini ortaya koyan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Çalışmalarda, yükseltinin artması ile artan yağış ve düşen sıcaklığın, bitki örtüsü dağılımını değiştirdiği ve bu durumun toprak organik karbon stokunu etkilediği bildirilmiştir (Houghton, 2018). Benzer şekilde, arazinin bakısı, organik maddenin miktarı ve ayrışma oranları (Sariyıldız vd., 2005) üzerinde önemli rol oynayan hidrolojik süreçleri ve güneş radyasyon yoğunluğunu değiştirerek toprak organik karbon stoklarının farklı olmasına neden olabilmektedir (Lozano-García vd., 2016). Orman ekosistemini oluşturan ağaç türleri ise, toprak yüzeyine ulaşan ölü örtünün miktarını, kimyasal kalitesini (C, N, lignin, selüloz gibi), ayrışma oranlarını ve salıverilen besin elementi miktarlarını etkileyerek, besin elementi stoklarının farklı olmasına neden olabilmektedir (Zhang vd., 2011). Sunulan çalışmada farklı orman ağaç türleri altındaki toprak özelliklerinin ve besin stoklarının yükselti, bakı ve toprak derinliğine göre değişiminin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Kastamonu ili Daday ilçesi ormanlarında gerçekleştirilecek çalışmada, iki bakı (güneşli ve gölgeli) ve iki yükselti basamağında (1189 m. ve 871 m.) yayılış gösteren karaçam (*Pinus nigra* Arnold), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde örneklem alanları alınarak toprak özellikleri ile makro ve mikro besin stokları üç farklı toprak derinliği (0-10, 10-20, 20-30 cm) dikkate alınarak analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanının tanıtımı ve örnekleme

Bu çalışma Kastamonu iline 30 km uzaklıkta yer alan Daday ilçesinde gerçekleştirilmiştir ve 41° 28' N enlemleri ile 33° 28' E boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Daday yöresi, gündüz ve gece sıcaklıkları arasındaki farklarının artmasından dolayı kışları soğuk, yazları sıcak ve kurak olan bir Bozkır İklimi olan Orta Anadolu ikliminin etkisi altında yer almaktadır. Kar yağışının bol olması ile genel olarak yağmur yağışında bir düşüş mevcuttur. Yıllık yağış miktarı 489 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 9.60C'dir. Yağış miktarının en düşük olduğu ay şubat (25.8 mm), en yüksek olduğu ay mayıs ayıdır (71.1 mm). Yöre genellikle kış boyunca kalın bir kar örtüsü ile kaplıdır. Kar, yılın 120 günü toprağı örtmektedir. Kışlar düzenli ve baskın kar yağışı ile yoğun olarak soğuktur. Sıcaklığın en düşük olduğu ay ocak (-0.8°C), en yüksek olduğu ay temmuz ayıdır (20.2°C) (DMİ, 2022).

Bölgede yer alan "Daday-Devrekani masifi", Batı Pontidler'deki Kastamonu yöresinde, KD-GB doğrultusunda, yaklaşık 150 km uzunluğunda ve yaklaşık 50 km genişliğinde dikdörtgene benzer bir alanda mostra veren çeşitli metamorfik kayalardan oluşmaktadır. Masifin KD kesiminde, sillimanit-mika gnays, amfibolit, kalk-silikatik gnays, kalksilikatik mermer ve diyopsit mermer türü kayalar (Yılmaz, 1981), GB kesiminde, mika gnays, amfibolit gnays, diyopsit gnays ve kalksilikatik gnays türü yüksek dereceli metasedimanterler ile bunları kesen granitik ve diyoritik bileşimli damar kayaları bulunmaktadır (Boztug, 1992).



Şekil 1. Örnekleme alanlarının Türkiye haritası ve uydu görüntüsü üzerinde yaklaşık konumu

Çoğu dağlık bölgede, ormanlık alanlar %74.6, ovalar ve platolar %21.6, tarımsal alanlar %3.8'i kaplar. Daday ilçesi ormanlarında görülen en yaygın ağaç türleri başta karaçam (*Pinus nigra* Arnold) olmak üzere sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), sapsız meşe (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) ve doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) türleridir. Bu türler aynı zamanda Kastamonu bölgesi ormanlarının asli orman ağaç türleridir (Şekil 1). Çalışma alanında hem gölgeli bakılar (Kuzeybatı, Kuzey, Kuzeydoğu ve Doğu yönleri) hem de güneşli bakılarda (Batı, Güneybatı, Güney ve Güneydoğu yönleri) sarıçam ve karaçam türleri saf veya karışık halde bulunurken, gölgeli bakıların üst rakımlarında (ortalama 1189 m.) karışıma kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.), alt rakımlarda ise (ortalama 871 m.) meşe (*Quercus* spp.) türleri katılmaktadır. Çalışma alanında, genel olarak, hem güneşli hem de gölgeli bakıların 650-1100 m yükselti kuşağında geniş ve iğne yapraklı ağaçlardan oluşan bir orman formasyonu, 1100-1600 m yükselti kuşağında ise saf iğne yapraklı orman formasyonu çoğunlukta olmak üzere yer yer iğne ve geniş yapraklı karışık ormanlar olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada örnekleme alanları, gölgeli ve güneşli bakıların üst (1189 m.) ve alt (871 m.) rakımlarından seçilmiştir. Karaçam, sarıçam ve kayın türlerinin birlikte bulunduğu gölgeli bakının üst rakımında (1189 m) her bir ağaç türünden üç adet olmak üzere 20 m x 20 m genişliğinde toplam 9 örnekleme alanı alınmıştır. Aynı yükseltinin güneşli bakısında kayın bulunmadığından karaçam ve sarıçam meşcerelerinden toplam 6 örnekleme alanı alınmıştır.

Alt rakımda ise hem güneşli hem de gölgeli bakıda sadece karaçam ve meşe türleri yayılış gösterdiğinden, örnekleme alanları bu iki tür için alınmıştır. Ortalama 871 m rakımda karaçam ve meşe için güneşli bakıda 6 gölgeli bakıda 6 olmak üzere toplamda 12 adet örnekleme alanı alınmıştır. Çalışma alanlarının eğimi %40-%45 arasında değişiklik göstermiştir. Örnekleme alanlarının yükseltisi, bakısı, ağaç türleri ve bazı meşcere özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
Örnekleme alanlarının konumu ve bazı meşcere özellikleri

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	Göğüs yüksekliğindeki çap (cm)	Boy (m)	Yaş (yıl)	Meşcere tipi
Üst (1189)	Gölgeli	Kayın (Kn)	23.4 (15.4 - 28.9)	15 (12- 18)	18	Knbc3
		Sarıçam (Çs)	22.4 (14.2 - 28.7)	16 (13 - 21)	19	Çsbc3
		Karaçam (Çk)	24.2 (16.2 - 27.6)	10 (8 - 16)	21	Çkbc3
	Güneşli	Sarıçam	19.1 (12.2 - 27.2)	14 (10 - 19)	20	Çsbc3
		Karaçam	21.2 (14.2 - 25.8)	9 (7 - 15)	20	Çkbc3
Alt (871)	Gölgeli	Karaçam	25.2 (17.8 - 32.3)	11 (9 - 18)	21	Çkbc3
		Meşe	16.7 (9.16 - 18.2)	10 (8 - 12)	19	Mbc3
	Güneşli	Karaçam	26.3 (19.3 - 33.7)	12 (10 - 19)	22	Çkbc3
		Meşe (M)	18.3 (11.2 - 22.3)	17 (12 - 24)	20	Mbc3

Örnekleme alanlarının her birinde bir adet toprak profili açılmıştır. Doğal yapısı bozulmamış toprak örnekleme, 3 farklı derinlik kademelerinden (0-10 cm, 10-20 cm ve 20-30 cm) yapılmıştır. Her derinlik kademesinin ortasından çelik silindir ile doğal yapısı bozulmamış toprak örneği alınmıştır. Silindirler istenilen derinliğe kadar çakıldıktan sonra kenarları ve tabanı keskin bir bıçakla fazlalıklardan temizlenmiş ve polietilen torbalara yerleştirilmiştir. Toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analizlerini belirlemek için ayrıca açılan toprak profilinden doğal yapısı bozulmuş toprak örnekleri de alınmıştır.

2.2. Toprak örneklerinin analizi

Araziden getirilen silindir örneklerinin yaş ağırlıkları belirlendikten sonra, 105°C'de 24 saat etüvde kurutulularak fırın kurusu ağırlıkları için tartılmıştır. Silindir örneklerinin fırın kurusu toprak ağırlığı ve silindir hacmi değerlerinden yararlanarak, toprak hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Blake ve Hartge, 1986). Toprak örneklerinin pH'sı ½.5 oranındaki toprak + saf su karışımında dijital pH metre ile ölçülmüştür (Gülçür, 1974). Toprakların tekstürü Bouyoucos'un hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir (Gülçür, 1974). Toprak organik karbon ve azot miktarı Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında kuru yakma yöntemine göre (Eurovector EA3000-Single CHN-S elementer analiz cihazında) tayin edilmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementleri Kastamonu Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında Spectro markalı Xepos II modeli olan XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi ile belirlenmiştir. Toprak makro ve mikro besin elementi stoku ise aşağıda verilen formüle göre belirlenmiştir (Sariyıldız vd., 2015):

Besin elementi stoku (ton/ha): % besin elementi x M_i (ton/ha).

Bu formülde verilen M_i , i'nci toprak derinliğinde kuru toprağın kütleini ifade etmekte olup, miktarı Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$M_i: H A_i \times T_i \times 10^4 \quad (1)$$

Bu formülde $H A_i$, i toprak derinliğindeki toprak hacim ağırlığını ($t m^{-3}$), T_i ise i toprak derinliğindeki toprak kalınlığını (m), 10^4 birim değişim faktörünü ($m^2 ha^{-1}$) ifade etmektedir.

2.3. İstatistiksel analiz

Çalışmada, elde edilen sonuçlara göre, istatistiksel analizler yapılarak, yükselti, bakı ve toprak derinlik kademelerinin karaçam, sarıçam, meşe ve kayının toprak besin elementi konsantrasyonları (%) ve stokları (ton/ha) üzerindeki değişime etkileri varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir. Ortalamaların karşılaştırılması Duncan testi ile yapılmıştır. İstatistik işlemler SPSS istatistik paket programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak bilgisayar ortamında yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprak özellikleri

Örnekleme alanlarının bazı toprak özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Toprak özellikleri üzerinde yükselti, bakı ve ağaç türünün istatistiksel olarak önem düzeyi yine Tablo 2’de gösterilmiştir. Tüm sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, toprak özelliklerinin farklı olmasında yükselti, bakı ve ağaç türlerinin önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir. Çalışılan tüm toprak özellikleri ağaç türleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermiştir (Tablo 2). Örneğin, ortalama değerlerde, çalışılan alanlarda toprak pH değerlerinin türler arasında şu sıralamada olduğu belirlenmiştir; sarıçam (5.26) <kayın (5.56) <meşe (5.92) <karaçam (6.96). Ağaç türlerinin kök sistemlerinin, tepe yapılarının, yeşil yapraklarının kimyasal bileşiminin, yaprak yapısının ve ölü örtüsünün kimyasal bileşiminin, topraklarında kimyasal, fiziksel (örneğin nem ve sıcaklık) ve biyolojik süreçleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu birçok çalışmada ortaya konulmuştur (Jonard vd., 2007, Ullah vd., 2008). Çalışılan türler arasında toprak özellikleri bakımından farklılıkların bu faktörlerden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Tablo 2

Örnekleme alanlarının bazı toprak özelliklerinin (0-30 cm) ağaç türüne, yükseltiye ve bakıya bağlı değişimi. Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir (P<0.05, n=3)

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	pH	Hacim ağırlığı (gr/cm ³)	Nem (%)	Kum (%)	Toz (%)	Kil (%)
Üst (1189)	Gölgeli	Kn	5.56 ^c ±0.20	1.08 ^a ±0.14	12.14 ^f ±0.37	76 ^b ±2.34	9 ^a ±2.25	15 ^a ±2.53
		Çs	5.13 ^b ±0.12	1.16 ^a ±0.15	10.09 ^{ef} ±0.45	72 ^a ±3.20	9 ^a ±3.03	19 ^{ab} ±2.07
		Çk	6.11 ^d ±0.15	1.01 ^a ±0.47	8.53 ^{de} ±0.91	71 ^a ±3.42	10 ^{ab} ±1.97	19 ^{ab} ±3.32
	Güneşli	Çs	5.39 ^a ±0.28	1.29 ^b ±0.29	6.62 ^c ±0.48	70 ^a ±2.23	12 ^b ±1.87	18 ^a ±1.37
		Çk	7.05 ^e ±0.19	1.24 ^b ±0.06	5.21 ^b ±3.02	70 ^a ±2.43	8 ^a ±1.17	22 ^b ±2.32
Alt (871)	Gölgeli	Çk	7.00 ^e ±0.13	1.23 ^b ±0.12	6.95 ^c ±0.11	72 ^a ±2.10	10 ^{ab} ±0.63	18 ^a ±1.79
		M	5.88 ^c ±0.48	1.06 ^a ±0.14	7.14 ^{cd} ±0.35	73 ^{ab} ±3.88	9 ^a ±1.75	18 ^a ±2.99
	Güneşli	Çk	7.67 ^e ±0.22	1.24 ^b ±0.10	4.99 ^{ab} ±0.23	69 ^a ±3.78	10 ^{ab} ±1.83	21 ^b ±3.14
		M	5.95 ^c ±0.06	1.15 ^a ±0.09	3.94 ^a ±0.98	76 ^b ±2.04	7 ^a ±0.98	17 ^a ±2.04
ANOVA / Kaynak		F-oranları						
Yükselti		161.953***	1.077ns	394.078***	72.471***	1.148 ns	98.532***	
Bakı		502.256***	8.150**	398.872***	.367 ns	.353 ns	1.585 ns	
Ağaç türü		124.536***	4.306*	235.929***	55.508***	3.854*	56.072***	
Toprak derinliği		1.409 ns	.335 ns	6.534 ns	1.941 ns	1.400 ns	.760 ns	

*: Önem derecesini ifade etmektedir: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.001, ns: anlamlı değil. Kn:kayın, Çs: sarıçam, Çk: karaçam, M: meşe

Çalışılan ağaç türlerinin belirlenen toprak özellikleri aynı bölgede yapılan diğer çalışmaların sonuçları ile karşılaştırıldığında, sonuçlardan bazılarının benzer, bazılarının ise düşük veya yüksek olduğu görülmüştür. Örneğin, Kastamonu, Gököy İşletme Şefliği orman sınırları içinde gerçekleştirilen bir yüksek lisans tez çalışmasında (Maetouq, 2021), sarıçam meşçeresinde ortalama pH 6.19; hacim ağırlığı 1.08 gr/cm³; kum oranı %53; kil oranı %36 ve toz oranı %11 olarak bildirirken, karaçam meşçeresinde ortalama pH 6.14, hacim ağırlığı 1.04 gr/cm³; kum oranı %52; kil oranı %36 ve toz oranı %12 olarak bildirmiştir.

Yine Kastamonu, Bostan İşletme Şefliği orman sınırları içinde gerçekleştirilen başka bir yüksek lisans tez çalışmasında (Tahmaz, 2016) sarıçam meşçeresinde ortalama pH 5.5; hacim ağırlığı 1.31 gr/cm³; kum oranı %63; kil oranı %16 ve toz oranı %21 olarak, karaçam meşçeresinde ortalama pH 5.4, hacim ağırlığı 1.24 gr/cm³; kum oranı %61; kil oranı %20 ve toz oranı %19 olarak, kayın meşçeresinde ise ortalama pH 5.70, hacim ağırlığı 1.35 gr/cm³; kum oranı %59; kil oranı %18 ve toz oranı %23 olarak bildirilmiştir.

Aynı bölgede (Kastamonu) aynı türlerle yapılan çalışmaların, toprak özelliklerindeki farklılıkların çalışılan türlerin meşcere özellikleri (yaş, boy, kapalılık) ve yetiştirme ortamı özelliklerinden (bakı, yükselti, eğim, ana kaya vd.) kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir.

Çalışmada yükseltinin toprak pH, yüzde nem, kum ve kil miktarı üzerinde etkili olduğu tespit edilirken, bakının da benzer şekilde toprak pH ve yüzde nem miktarı üzerinde etkili olduğu, fakat yükseltiden farklı olarak hacim ağırlığı ve boşluk yüzeyi üzerinde etki yaptığı belirlenmiştir. Örneğin toprak pH'sı karaçam için üst rakımlarda ortalama 6.58 iken alt rakımda 7.34 olarak farklılık göstermiştir. Toprak pH'sı gölgeli bakılarda (örneğin üst rakımın gölgeli bakısında sarıçamda 5.13 ve karaçamda 6.11) güneşli bakılara göre (sarıçamda 5.39 ve karaçamda 7.05) daha düşük değer göstermiştir.

Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde yükselti ve bakıya bağlı olarak toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, örneğin pH, kil ve hacim ağırlığının önemli farklılıklar gösterdiği hem ulusal hem de uluslararası çalışmalarda bildirilmiştir (Sariyildiz vd., 2005; Griffiths vd., 2009; Rodrigues vd., 2021; Demir ve Göl, 2022). Genel olarak topografya toprak pH ve kil miktarını iki yönden etkileyebilmektedir. Birincisi topografya faktörlerinin (özellikle yükselti, bakı ve eğim) su akışını ve ortamdaki materyalin (ölü örtü gibi) taşınmasını kontrol etmesidir (Moore vd., 1993). İkincisi ise alanın mikroiklimi değiştirmesidir. Yükselti özellikle alandaki sıcaklığı ve düşen yağış miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Genel olarak, üst yükselti daha düşük sıcaklık ve daha fazla yağış almaktadır. Sıcaklık genelde kayaların parçalanmasını etkilerken, yağış çoğunlukla materyalin akışında ve yer değişmesinde etkili olmaktadır. Daha fazla yağış alan alanlarda bazik kationların ve kilin üst topraklardan yıkanması, topraklarda pH'nın düşmesine ve kil miktarının yıkanmasına neden olabilmektedir (Zhan vd., 2019). Benzer şekilde bu çalışmada da yükselti arttıkça toprak pH'sında bir düşüş, kil miktarında ise bir azalma belirlenmiştir. Tezat olarak, yükselti ile beraber hacim ağırlığında bir azalma tespit edilmiştir. Bu azalmanın yükseltiye bağlı olarak toprak organik maddesindeki artıştan kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Benzer şekilde, Çelik (2005) yüksek organik maddenin toprakları daha gevşek ve geçirgen yaptığını ve bu nedenle hacim ağırlığını düşürdüğünü bildirmiştir.

3.2. Toprak makro besin elementi konsantrasyonları ve stokları

Örnekleme alanlarının yükselti (üst ve alt rakım), bakı (gölgeli ve güneşli) ve ağaç türüne bağlı (Kn-kayın, Çs-sarıçam, Çk-karaçam, M-meşe) makro besin elementi konsantrasyonlarındaki değişim ve önem düzeyi Tablo 3'te gösterilmiştir. Örnekleme alanlarındaki makro besin elementi stoklarının toprak derinliğine bağlı olarak yükselti, bakı ve ağaç türü arasındaki değişimi ise Şekil 2'de verilmiştir.

Makro besin elementlerinin çoğunluğu, yükselti, bakı ve ağaç türlerine göre önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 3). Toprak özelliklerinde olduğu gibi, toprak derinlik kademeleri makro besin elementleri üzerinde etkisi bulunmamıştır. Makro besin elementi stoklarının yükselti, bakı ve ağaç türlerine bağlı değişimi (Şekil 2) genel olarak besin elementi konsantrasyonları ile benzerlik göstermiştir.

Toprak organik karbon stoku, üst rakımlarda ve gölgeli bakılarda daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2). Konu ile ilgili yapılan birçok çalışmada, yüksek alanlarda var olan düşük sıcaklıkların ölü örtü ayrışması yanında toprak oluşumunda etkili olan süreçleri sınırlandırdığını, bu nedenle toprak organik karbon miktarının artabileceğini, tezat olarak ise diğer besin elementlerinin azalabileceğini bildirmişlerdir (Sundqvist vd., 2013). Bu durum, tüm çalışmalarda olmazsa da, birçok araştırma sonuçlarıyla desteklenmiştir (Koerselman ve Meuleman, 1996; Vincent vd., 2014). Güneşli ve gölgeli bakılar arasında bulunan güneşlenme süresi, toprak sıcaklığı ve toprak su içeriği farklılıklarının öncelikle ölü örtü ayrışmasını etkilediği ve sonrasında bu durumun toprakta stoklanan karbon miktarı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur (Sariyildiz vd., 2015; Elnaker ve Zaleski, 2021). Benzer şekilde, çalışmamızda da, gölgeli bakıların yüksek toprak organik karbon stokunun, bu bakılardaki güneşlenme süresinin ve toprak sıcaklığının düşük olmasının ölü örtü ayrışmasının engellenmesine ve toprak organik karbon stokunun artmasına neden olabileceği değerlendirilmiştir.

Tablo 3

Örnekleme alanlarının makro besin elementi konsantrasyonları (0-30 cm). Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ($P<0.05$, $n=3$)

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	C (%)	N (%)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	P (ppm)	K (ppm)
Üst (1189)	Gölgeli	Kn	3.08 ^d ±1.28	0.180 ^b ±0.05	355 ^a ±57	113 ^a ±3.6	110 ^c ±9.6	1773 ^{bc} ±77
		Çs	3.11 ^d ±1.22	0.126 ^a ±0.03	444 ^a ±53	114 ^a ±4.8	82 ^b ±6.3	1703 ^b ±73
		Çk	4.42 ^e ±2.99	0.240 ^c ±0.10	743 ^b ±29	169 ^c ±12	117 ^c ±6.7	1929 ^c ±99
	Güneşli	Çs	2.29 ^b ±1.36	0.101 ^a ±0.04	303 ^a ±35	106 ^a ±7.7	76 ^{ab} ±19	2114 ^c ±102
		Çk	2.67 ^c ±0.68	0.172 ^b ±0.02	2401 ^c ±74	111 ^a ±3.1	107 ^c ±8.2	2190 ^c ±93
Alt (871)	Gölgeli	Çk	2.59 ^c ±0.26	0.190 ^b ±0.06	1099 ^b ±28	124 ^b ±6.1	69 ^a ±9.1	574 ^a ±11
		M	2.78 ^c ±1.18	0.141 ^a ±0.07	797 ^b ±38	122 ^b ±7.8	67 ^a ±12	560 ^a ±7.9
	Güneşli	Çk	2.17 ^b ±0.53	0.163 ^b ±0.06	4123 ^d ±115	114 ^a ±7.7	82 ^b ±11	872 ^a ±74
		M	1.97 ^a ±0.76	0.144 ^a ±0.05	2044 ^c ±72	110 ^a ±1.7	71 ^a ±11	676 ^a ±17
ANOVA / Kaynak			F-oranları					
Yükselti			4.488*	0.000 ns	31.885***	68.887***	48.643***	710.847***
Bakı			5.458*	1.567 ns	91.410***	112.240***	.002 ns	55.653***
Ağaç türü			1.169 ns	0.755 ns	28.815***	74.962***	14.985***	4.759**
Toprak derinliği			0.434 ns	1.138 ns	1.597 ns	0.157 ns	0.225 ns	0.907 ns

*: Önem derecesini ifade etmektedir: *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$, ns: anlamlı değil

Ağaç türleri arasında ortalama karbon stoku en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla kayında 57.7 ton/ha, sarıçamda 53.1 ton/ha, karaçamda 46.0 ton/ha ve meşede 39.7 ton/ha olarak belirlenmiştir. Bununla beraber, aynı ortam şartları altında (örneğin üst rakımda gölgeli bakılarda), sarıçamın toprak organik karbon stokunun (64.3 ton/ha), karaçam (56.5 ton/ha) ve kayından (57.7 ton/ha) daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Kastamonu bölgesi sarıçam ve karaçam meşcereleri için Maetouq (2021) toprakta stoklanan karbon miktarını sırasıyla 39.8 ve 41.7 ton/ha, Tahmaz (2016) ise sarıçam, karaçam ve kayın meşcereleri bu değerleri sırasıyla 73, 79 ve 67 ton/ha olarak bildirmiştir. Tolunay ve Çömez (2008) tarafından derlenen bir çalışmada Türkiye sarıçam ve karaçam meşcerelerinin stokladığı ortalama organik karbon miktarı sırasıyla 78.0 (18.3 - 448.0) ve 71.6 (6.7 - 296.5) ton/ha, meşe ve kayın meşcerelerinin stokları ise 82.3 (5.1 - 279.1) ve 77.9 (27.8 - 227.3) ton/ha olarak verilmiştir. Çalışmada yer alan sarıçam, karaçam, meşe ve kayının ortalama toprak organik karbon değerleri Türkiye genel ortalamasından düşük olmakla beraber yapılan diğer çalışma sonuçlarının maksimum ve minimum değerleri arasındadır. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki yöntem ve belirlenen toprak derinliği farklılıkları da sonuçların farklı olmasında etkili olmaktadır. Toprak karbon miktarının ağaç türleri arasında farklı olmasında; (1) ağaç türlerinin ölü örtü kısımlarından toprağa ulaşan karbon girdisi ve organik kimyasal yapılar (Eviner ve Chapin, 2003), (2) farklı ağaç türlerinin yapısı itibarıyla toprak karbon ve kil parçacıkları arasında bağlayıcı bir köprü görevi üstlenerek, kation kimyasını engelleyip karbon depolanmasının azalması (Mulder ve Keall, 2001), (3) ölü örtüye ve üst topraklara farklı ağaç türlerinin asidik doku girdisi sağlamasından kaynaklanan düşük pH seviyesinin, mikrobiyal ayrışmayı engelleyerek toprak karbon birikimini atırabilmesi (Beets vd., 2002) gibi faktörler rol oynayabilmektedir.

Çalışmada toplam azot stoku en yüksek kayında (3.32 ton/ha), sonrasında karaçamda (3.10 ton/ha) ve en düşük meşe (2.37 ton/ha) ve sarıçamda (2.31 ton/ha) bulunmuştur. Tahmaz (2016) aynı bölgede sarıçam, karaçam ve kayın meşcerelerinin toplam azot stokunu toprakta sırasıyla 5.77, 4.20 ve 9.57 ton/ha olarak daha yüksek bildirmiştir. Toplam azot stokunda, çalışmada üst ve alt rakımlar arasında önemli bir farklılık görülmezken, gölgeli bakılardaki toprakların toplam azot stokunun, güneşli bakılardan daha fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 2). Yükseltinin, toprak azot stokuna etkisi konusunda, farklı orman ekosistemlerine ait, birbirine tezat sonuçlar rapor edilmiştir. Örneğin, yarı tropikal ormanlarda, toprak azot stoku, yükselti ile pozitif yönde bir ilişki göstermiş (Wang vd., 2013), benzer şekilde, kuzey bölgesi yapraklı ormanların, üst rakımlarda stokladığı toprak azot miktarı, alt rakımlardan daha yüksek bulunmuştur (Bonito vd., 2003). Bununla beraber, burada sunulan

çalışmada olduğu gibi, kuzeye ait yapraklı ormanlarda gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, toprak azot stokunun yükselti ile bir ilişkisi olmadığı bildirilmiştir (Huntington vd., 1988).

Gölgeli bakıların, güneşli bakılara göre nem bakımından daha uygun ortamlar olduğu bilinmektedir (Rawlik vd., 2019). Bu şartlarda, ölü örtünün, gölgeli bakılardaki ayrışması, güneşli bakılardan daha hızlı olmaktadır (Sariyıldız vd., 2015; Jasińska vd., 2019). Gölgeli bakıların eğimli yamaçlarının, daha uygun termal koşullara rağmen, daha güçlü güneş ışığına maruz kaldıklarından, bu ortamda biriken yüzey humusunun periyodik olarak kurummasına neden olabilmektedir (Bardelli vd., 2017). Kuraklık dönemleri, toprak mikroorganizmalarının aktivitesinde bir azalmaya neden olmakta, bu da sonuç olarak toprak organik maddesinin ayrışmasında yavaşlamaya ve kalın bir humus tabakası oluşumuna yol açmaktadır (Staszal vd., 2021). Ölü örtü ayrışmasının yavaşlaması, azot mineralizasyonunu etkileyerek, güneşli bakılarda toprakta daha düşük azot stokuna neden olabilmektedir (Wiesmeier vd., 2019).

Toprak organik karbon ve toplam azot stokuna yönelik çalışmalarla karşılaştırıldığında, toprakta diğer makro besin elementi (P, K ve Mg) stoklarına yönelik çalışmaların sayısı çok sınırlıdır. Çalışmada, ağaç türleri arasındaki ortalama fosfor stoku, yine en yüksek kayında (0.181 ton/ha), en düşük ise meşede (0.115 ton/ha) belirlenirken, sarıçam ve karaçam topraklarında aynı miktarda (0.149 ton/ha) fosfor stoku olduğu bulunmuştur.

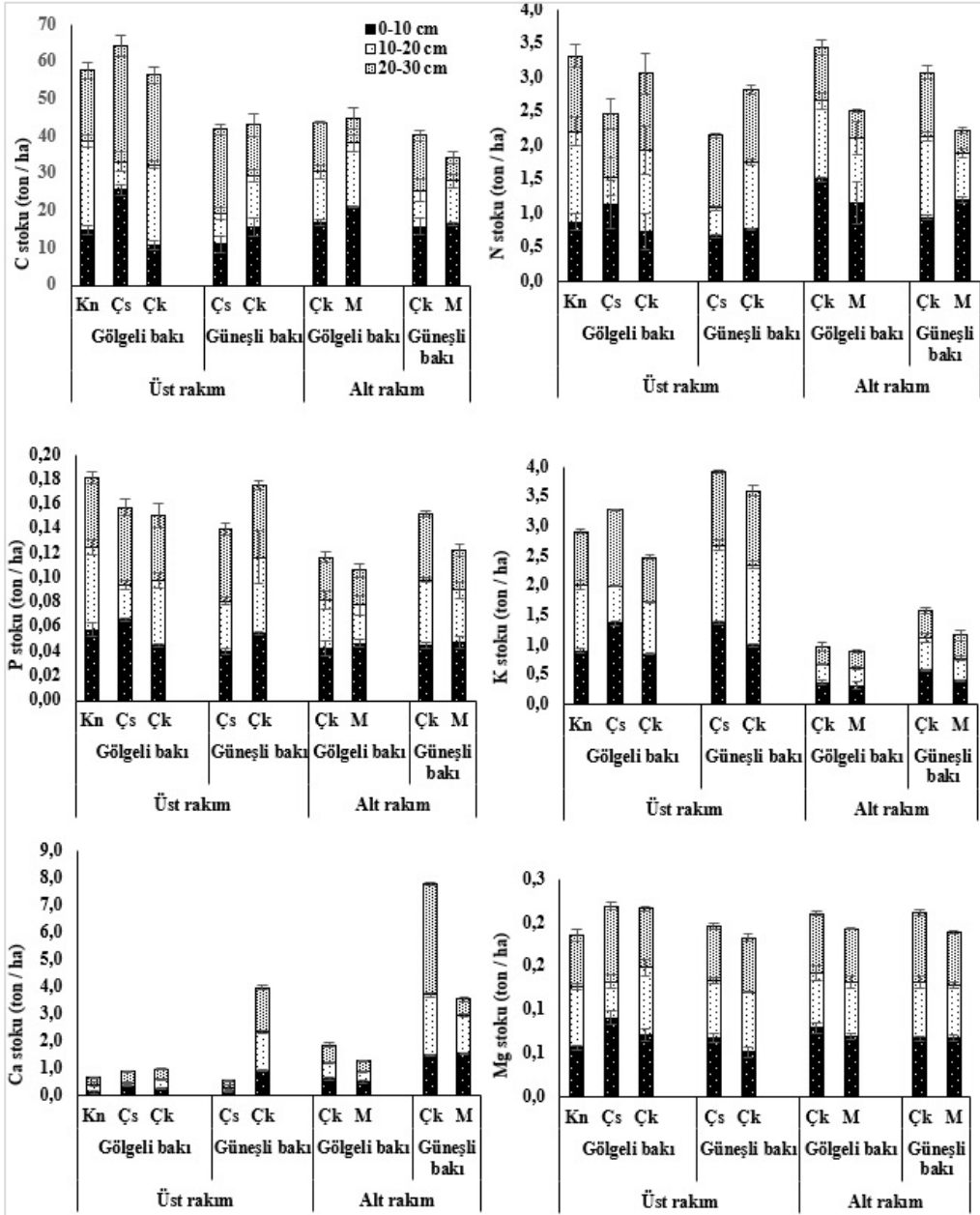
Karbon ve azot stokundan farklı olarak hem karaçam hem de meşede, güneşli bakılardaki fosfor stokunun, gölgeli bakılardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sarıçamda ise durum, karbon ve azot stokunda olduğu gibi aynı yönde, yani gölgeli bakılarda daha fazla olduğu yönünde sonuç göstermiştir (Şekil 2). Çalışmada, toprak fosfor stoku, genel olarak üst rakımlarda daha yüksek değer göstermiştir. Toprak fosfor stokunun, ağaç türlerine bağlı olarak farklılık gösterdiği bildirilmiştir (Xu vd., 2018). Farklı çalışmalarda, toprak fosfor stokunun, yükselti ile hem pozitif (Yang vd., 2015) hem de negatif yönde (Vincent vd., 2014) bir ilişki gösterdiği rapor edilirken, tezat olarak, tropikal yağmur ormanlarında yükselti ile toprak fosfor stokları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır (Kitayama ve Aiba, 2002). Çalışmalarda, yükseltiye bağlı fazla yağışın topraklarda yıkanmaya neden olarak, toprak P konsantrasyonunu azaltabildiği, sonuç olarak toprak fosfor stokunu düşürdüğü ifade edilmiştir (Sardans vd., 2016). Bu durum çalışma sonuçlarıyla uyum göstermemektedir. Çünkü yağışın daha fazla olduğu üst rakımlarda, genel olarak makro besin elementleri (Ca hariç) daha yüksek değer göstermiştir. Bu durumun, üst rakımlarda düşük sıcaklığa bağlı olarak ayrışmanın yavaşlamasının, toprak yüzeyinde ölü örtü miktarının birikmesine bağlı olarak, toprakta yıkanmayı engellediği değerlendirilmiştir.

Üst rakımlardaki topraklarda, alt rakımlara göre daha fazla stoka sahip olan diğer makro besin elementi potasyum olmuştur. Güneşli bakılarda da daha fazla stoka sahip olan besin elementi potasyumdur (Şekil 2). Ağaç türleri arasında, ortalama değerlere göre, en yüksek potasyum stoku sarıçamda (3.60 ton/ha), sonrasında kayında (2.92 ton/ha), karaçamda (2.16 ton/ha) ve en düşük meşede (1.03 ton/ha) tespit edilmiştir. Ölü örtü ayrışmasının, düşük sıcaklık nedeniyle yavaş olduğu üst rakımlar ile daha az nemli ve kurutucu etkisinin yaşandığı güneşli bakılarda, potasyum stokları topraklarda daha düşük değer göstermiştir.

Topraklarda kalsiyum stoku, diğer tüm makro besin elementlerinden farklı olarak, en yüksek miktarını alt rakımlarda göstermiştir (Şekil 2). Fosfor ve potasyumda olduğu gibi güneşli bakılardaki kalsiyum stoku gölgeli bakılardan daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılıkların yükselti ve bakımlar arasında var olan toprak ve iklim özellikleri yanında makro besin elementinin bu ortamlardaki davranışından (yıkanmaya karşı direnci, bağlanması vd.) kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Ağaç türleri arasında ortalama değerlere göre en yüksek kalsiyum stoku karaçamda (3.64 ton/ha) ve meşede (2.41 ton/ha), en düşük sarıçam (0.73 ton/ha) ve kayında (0.67 ton/ha) tespit edilmiştir. Bursa Uludağ yöresinde Uludağ göknarı meşçeresinde gerçekleştirdiğimiz çalışmada, makro besin elementlerinden Ca, Mg ve P stoklarının yükseltiye bağlı olarak azaldığı, K stokunun ise önce bir azalma daha sonra ise bir artış gösterdiği belirlenmiştir (Sariyıldız vd., 2022).

Bu çalışmada, üst ve alt rakımlar arasında Mg stokları arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. Bununla beraber, magnezyum stoku üst rakımlarda, gölgeli ve güneşli bakımlar arasında bir fark gösterirken, alt rakımlarda bu farklılık görülmemiştir (Şekil 2). Hem üst hem de alt rakımlarda, türler arasında magnezyum stokları

bakımından farklılıklar belirlenmiştir. Sarıçam ve karaçamın magnezyum stok miktarı (0.207 ve 0.205 ton/ha), meşe (0.192 ton/ha) ve kayından (0.186 ton/ha) daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 2. Makro besin elementi stoklarının yükselti, bakı, ağaç türü ve toprak derinliğine bağlı değişimi.

3.3. Toprak mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları

Örnekleme alanlarının, yükselti, bakı ve ağaç türüne bağlı mikro besin elementi konsantrasyonlarındaki değişim ve önem düzeyi Tablo 4'te verilmiştir. Örnekleme alanlarındaki mikro besin elementi stoklarının, toprak derinliğine bağlı olarak yükselti, bakı ve ağaç türü arasındaki değişimi ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Sonuçlar, makro besin elementlerinde olduğu gibi, yükselti, bakı ve ağaç türlerinin mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları üzerinde de önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Makro besin elementlerinden farklı olarak, sadece sodyumun (Na) toprak derinliğine bağlı olarak anlamlı bir değişiklik göstermiştir (Tablo 4).

Genel olarak, mikro besin elementi stokları, üst rakımlarda alt rakımlara göre daha yüksek olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Demir haricinde, diğer besin elementlerinin topraktaki stokları, güneşli bakılarda gölgeli bakılardan daha yüksek tespit edilmiştir. Türler arasında ise, sarıçam ve kayın topraklarının karaçam ve meşeden daha fazla stok miktarına sahip olduğu bulunmuştur. Mikro besin elementi stokları arasında en yüksek değeri demir stoku göstermiştir. Değerler, kayında 40.8 ton/ha, sarıçamda 43.2 ton/ha, karaçamda 33.3 ton/ha ve meşede 31.3 ton/ha olarak belirlenmiştir. İkinci en yüksek stok alüminyum olup, stok değerleri kayında 11.0 ton/ha, sarıçamda 12.6 ton/ha, karaçamda 7.60 ton/ha ve meşede 5.57 ton/ha olarak bulunmuştur. Manganez stokları bakımından da kayın ve sarıçam (2.08 ve 2.30 ton/ha), karaçam ve meşeden daha yüksek değer (1.58 ve 0.99 ton/ha) göstermiştir. Sodyum ve bakır stokları, türler arasında önemli farklılık göstermez iken, çinko stokları, sarıçam ve kayında birbirine çok yakın (0.274 ve 0.270 ton/ha) olup, karaçam (0.201 ton/ha) ve meşeden (0.157 ton/ha) daha fazla bulunmuştur.

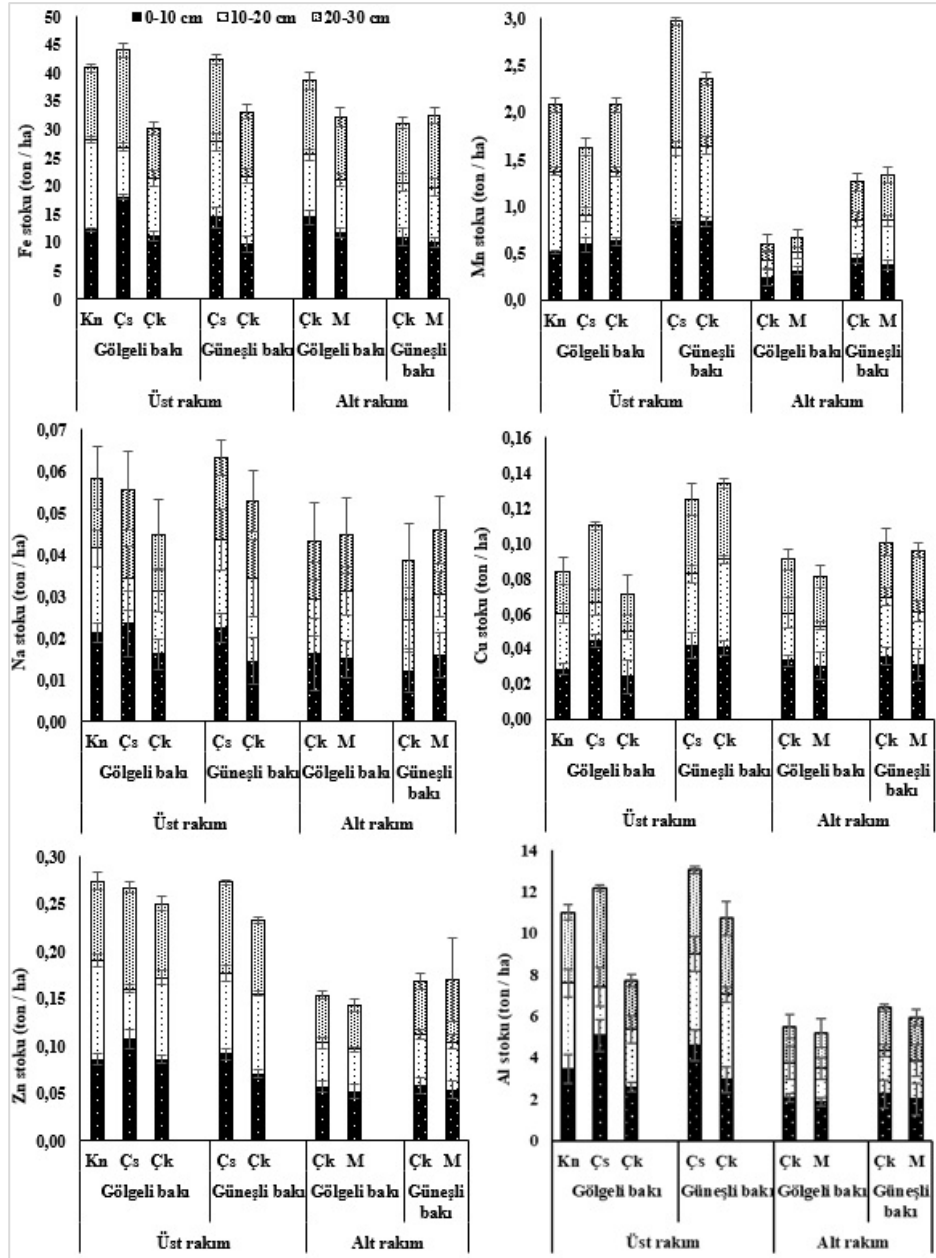
Literatürde, mikro besin elementlerinin yükselti ve bakıya bağlı olarak toprak stokundaki değişimini ortaya koyan yok denecek sayıda çalışma bulunurken (Sariyildiz vd., 2022b), mikro besin konsantrasyonları üzerine ise sınırlı sayıda fakat birbirine tezat sonuçlar bildiren çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Ai vd. (2020) kuzeybatıya bakan toprakların maksimum Cu ve Mn konsantrasyonuna sahip olduğunu bildirirken, Rezapour vd. (2014) aynı elementlerin kuzeye bakan topraklarda maksimum konsantrasyona sahip olduğunu bildirmiştir. Tezat olarak Duan vd. (2015) güneye bakan toprakların maksimum Cu konsantrasyonuna sahip olduğunu rapor etmiştir. Bununla beraber, her iki çalışmada da Fe ve Zn konsantrasyonlarının bakıya bağlı olarak değişiklik gösterdiği bulunmuştur. Bursa Uludağ yöresinde Uludağ göknarında gerçekleştirdiğimiz çalışmada (Sariyildiz vd., 2022b), mikro besin elementlerinden Cu, Zn, Cl ve Co konsantrasyonlarında bir artış, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonlarında ise önemli bir değişimin olmadığı, mikro besin elementlerinin kuzey bakıda güney bakıya göre daha fazla stoklara sahip olduğu belirlenmiştir. Mikro besin elementlerinin, bakı ve yükseltiye bağlı değişiklik göstermesinin temel nedeni olarak, toprak özelliklerinin ve iklim özelliklerinin, bakı ve yükseltiye bağlı olarak farklılık göstermesi olduğu bu çalışmalarda ifade edilmiştir. Burada sunulan çalışmada, makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları ve stokları üzerinde ağaç türlerinin, bakı ve yükseltinin etkili olup olmadığının sayısal verilerle ortaya konulması amaçlanmıştır olup, farklılıkların nedenlerini açıklamaya veya ilişkilendirmeye yönelik bir çalışma olarak planlanmamıştır. Bu nedenle, ileride bu farklılıkları açıklamaya yönelik daha detaylı çalışmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Tablo 4

Örnekleme alanlarının mikro besin elementi konsantrasyonları (0-30 cm). Düşey kolonlarda farklı olan küçük harfler, ortalamaların birbirlerinden önemli derecede farklılık gösterdiğini ifade etmektedir ($P<0.05$, $n=3$)

Yükselti (m)	Bakı	Ağaç türü	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Al (ppm)
Üst (1189)	Gölgeli	Kn	24836 ^d ±1164	1202 ^c ±259	36 ^b ±6.9	54 ^a ±8.2	168 ^c ±8.6	6744 ^b ±287
		Çs	23124 ^c ±465	863 ^b ±124	29 ^{ab} ±1.0	57 ^a ±1.22	140 ^b ±6.0	6324 ^b ±249
		Çk	23523 ^{cd} ±1452	1593 ^d ±276	35 ^b ±1.6	55 ^a ±2.7	194 ^c ±15.0	6057 ^b ±158
	Güneşli	Çs	22851 ^c ±1397	1618 ^d ±365	34 ^b ±2.5	68 ^b ±6.2	147 ^b ±11.5	7050 ^b ±375
		Çk	20166 ^b ±907	1454 ^{cd} ±241	32 ^b ±1.9	82 ^b ±8.0	142 ^b ±6.6	6509 ^b ±318
Alt (871)	Gölgeli	Çk	22678 ^c ±1189	359 ^a ±44	25 ^a ±1.6	53 ^a ±1.25	90 ^a ±3.4	3239 ^a ±144
		M	20662 ^b ±1883	333 ^a ±41	28 ^a ±3.3	51 ^a ±5.2	89 ^a ±4.6	3236 ^a ±185
	Güneşli	Çk	16783 ^a ±1427	690 ^b ±95	21 ^a ±0.8	55 ^a ±10.1	91 ^a ±9.9	3489 ^a ±265
		M	19648 ^b ±1468	853 ^b ±33	26 ^a ±2.6	55 ^a ±6.6	103 ^a ±16.2	3447 ^a ±183
ANOVA / Kaynak		F-oranları						
Yükselti			15.840***	48.097***	81.515***	29.028***	421.292***	358.149***
Bakı			34.106***	16.394***	.389 ns	26.151***	1.961 ns	14.364**
Ağaç türü			4.237*	1.366 ns	7.448**	1.751 ns	14.533***	5.042**
Toprak derinliği			3.073 ns	0.712 ns	4.016*	.959 ns	0.606 ns	0.630 ns

*: Önem derecesini ifade etmektedir: *, $P<0.05$; **, $P<0.01$; ***, $P<0.001$, ns: anlamlı değil



Şekil 3. Mikro besin elementi stoklarının yükselti, baki, ağaç türü ve toprak derinliğine bağlı değişimi.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, makro ve mikro besin elementlerinin konsantrasyonu ve stokları üzerinde ağaç türünün, yükseltinin ve bakanın önemli bir etkisinin olduğu ortaya koyulmuştur. Ağaç türleri arasında kayın meşcereleri toprakta en yüksek karbon, azot ve fosfor stokuna sahip olurken, en yüksek potasyum stokuna sarıçam, en yüksek kalsiyum stokuna ise karaçam meşcereleri sahip olmuştur. Mikro besin elementi bakımından ise sarıçam ve kayın topraklarının karaçam ve meşeden daha fazla stok miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, besin elementlerinin çoğunluğunun stok değerleri, yükselti ile bir artış eğilimindedir. Mikro besin elementleri güneşli bakılarda daha fazla stoka sahip olurken, makro besin elementlerinden K, Mg ve Ca stokları benzer şekilde güneşli bakılarda daha fazla bulunmuştur. Tezat olarak, karbon ve azot stokları gölgeli bakılarda daha fazla stoka sahip olmuştur. Makro ve mikro besinler, bitkinin ozmotik basıncını düzenlemede, bitki hücrelerinin stabilitesi ve birçok enzimatik reaksiyonlar, fotosentez ve solunum gibi neredeyse tüm fizyolojik metabolik süreçlerde yer almaktadırlar. Çalışmada, baki ve yükseltiye bağlı besin elementi stoklarının farklı olmasında, yükseltiyle ilişkili sıcaklık azalmasının, güneşli bakılara bağlı düşük nem ve

kurutucu etkinin, ölü örtü ayrışmasını sınırladığı ve bunun sonucunda toprak besin stoklarının etkilendiği yönünde değerlendirme yapılabilir. Bununla beraber, farklılıkların nedenlerini açıklamak amaçlı, farklı bölge ve türlerden gelecek, daha detaylı çalışma sonuçlarına ihtiyaç bulunmaktadır.

Yazar Katkıları

Temel SARIYILDIZ: Veri toplanması, laboratuvar analizi, istatistiksel analiz, yorumlama, kontrol ve yazım

Gamze SAVACI: Literatür taraması, yorumlama, kontrol ve düzenleme

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Ai, Z., Zhang, J., Liu, H., Liang, C., Xue, S., Liu, G. (2020). Influence of slope aspect on the macro- and micronutrients in *Artemisia sacrorum* on the Loess Plateau in China. *Environmental Science and Pollution Research*. 27:20160–20172. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08570-1>.
- Aitali, R., Snoussi, M., Kolker, A.S., Oujidi, B., Mhammdi, N. (2022). Effects of Land Use/Land Cover Changes on Carbon Storage in North African Coastal Wetlands. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10, 364. <https://doi.org/10.3390/jmse10030364>
- Bardelli, T., Gómez-Brandón, M., Ascher-Jenull, J., Fornasier, F., Arfaioli, P., Francioli, D., Egli, M., Sartori, G., Insam, H., Pietramellara P. (2017) Effects of slope exposure on soil physico-chemical and microbiological properties along an altitudinal climosequence in the Italian Alps. *Science of the Total Environment*. 575, 1041-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.176>
- Beets, P.N., Oliver, G.R., Clinton, P.W. (2002). Soil carbon protection in podocarp/ hardwood forest, and effects of conversion to pasture and exotic pine forest. *Environmental Pollution*. 116, 63–73. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00248-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00248-2)
- Bonito, G.M., Coleman, D.C., Haines, B.L., Cabrera, M.L. (2003) Can nitrogen budgets explain differences in soil nitrogen mineralization rates of forest stands along an elevation gradient? *Forest Ecology and Management*. 176(1), 563–74. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00234-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00234-7)
- Boztug, D. (1992). Lithostratigraphic units and tectonics of the southwestern part of Daday-Devrekani massive, Western Pontides, Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration, Ankara*, 114, 1-22. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bulletinofmre/issue/3933/52300>
- Çakır M, Akburak S (2017) Litterfall and nutrients return to soil in pure and mixed stands of oak and beech. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 67(2):185-200
- Çelik, I. (2005). Land use effects on organic matter and physical properties of soil in southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil Tillage Research*. 83, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.001>
- Demir, K., Göl, C. (2022). Anadolu karaçam ormanlarında bakının ölü örtü ve üst toprak özelliklerine etkileri. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*. 8(2), 89-97. <https://doi.org/10.53516/ajfr.1180853>
- Dindaroğlu, T. ve Canbolat, M. Y. (2017). Hidrolojik fonksiyonlu havzalarda fizyografik karakteristiklere ve arazi kullanımına bağlı olarak toprak özelliklerindeki değişimin araştırılması. *Turkish Journal of Forest Science*, 1(1), 10-24.
- DMİ (2022). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Kastamonu Meteoroloji İl Müdürlüğü, Daday İstasyonu Verileri, Kastamonu.
- Du, E., de Vries, W. (2018). Nitrogen-induced new net primary production and carbon sequestration in global forests. *Environmental Pollution*. 242, 1476–1487. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.041>
- Duan, X., Zhang, G., Rong, L., Fang, H., He, D., Feng, D. (2015). Spatial distribution and environmental factors of catchment-scale soil heavymetal contamination in the dry-hot valley of Upper Red River in southwestern China. *Catena*. 135, 59–69.
- Elnaker, N., Zaleski, T. (2021). The impact of slope aspect on soil temperature and water content. In: *Proceedings of International symposium on soil science and plant nutrition*. Samsun, Turkey, pp 156-163.
- Eviner, V.T., Chapin, III F.S. (2003). Functional matrix: a conceptual framework for predicting multiple plant

- effects on ecosystem processes. *Annual Review of Ecology Evolution, and Systematics*. 34, 455–485. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132342>
- Feng, J., Tang, M., Zhu, B. (2021). Soil priming effect and its responses to nutrient addition along a tropical forest elevation gradient. *Global Change Biology*. 27, 2793–2806. <https://doi.org/10.1111/gcb.15587>
- Göl C. (2017): Assessing the amount of soil organic matter and soil properties in high mountain forests in Central Anatolia and the effects of climate and altitude. *J. For. Sci.*, 63: 199–205.
- Griffiths, R.P., Madritch, M.D., Swanson, A.K. (2009). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA): implications for the effects of climate change on soil properties. *Forest Ecology and Management*. 257, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.010>
- Gülçur F 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İ.Ü. Orman Fak. Yay. No:201, İstanbul.
- Güner, Ş.T. (2006). Türkmen Dağı (Eskişehir, Kütahya) sarıçam (*Pinus sylvestris* ssp. *hamata*) ormanlarının yükseltiye bağlı büyüme beslenme ilişkilerinin belirlenmesi. (Doktora Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, 325s.
- Güner, S. T. ve Çömez, A. (2017). Biomass Equations And Changes in Carbon Stock in Afforested Black Pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) Stands in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(3), 2368-2379.
- He, J., Dai, Q., Xu, F., Yan, Y., Peng, X. (2022). Variability in Soil Macronutrient Stocks across a Chronosequence of Masson Pine Plantations. *Forests*. 13, 17. <https://doi.org/10.3390/f13010017>
- Houghton, R.A. (2018). Interactions between land-use change and climate-carbon-cycle feedbacks. *Current Climate Change Reports*. 4(2),115–127. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0099-9>
- Huntington, T.G., Ryan, D.F., Hamburg, S.P. (1988). Estimating Soil Nitrogen and Carbon Pools in a Northern Hardwood Forest Ecosystem. *Soil Science Society of American Journal*. 52(4), 1162–1167. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040049x>
- Jasińska, J., Sewerniak, P., Markiewicz, M. (2019). Links between slope aspect and rate of litter decomposition on inland dunes. *Catena*. 172, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.025>
- Jonard, M., André, F., Jonard, F., Mouton, N., Procès, P., Ponette, Q. (2007). Soil carbon dioxide efflux in pure and mixed stands of oak and beech. *Annals of forest science*, 64(2), 141-150. <https://doi.org/10.1051/forest:2006098>
- Kantarıcı, M. D. (1979), Aladağ Kütlesinin (Bolu) Kuzey Aklanındaki Uludağ Göknarı Ormanlarında Yükselti-İklim Kuşaklarına Göre Bazı Ölü Örtü ve Toprak Özelliklerinin Analitik Olarak Araştırılması, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No: 2634, O. F. Yayın No: 274, İstanbul.
- Kitayama, K., Aiba, S.I. (2002). Ecosystem structure and productivity of tropical rain forests along altitudinal gradients with contrasting soil phosphorus pools on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Ecology*. 90(1), 37–51. <https://doi.org/10.1046/j.0022-0477.2001.00634.x>
- Koerselman, W., Meuleman, A.F.M. (1996). The Vegetation N:P Ratio: A New Tool to Detect the Nature of Nutrient Limitation. *The Journal of Applied Ecology*. 33, 1441-1450. <https://doi.org/10.2307/2404783>
- Kumar, A., Kumar, M, Pandey, R., ZhiGuo, Y., Cabral-Pinto, M. (2021). Forest soil nutrient stocks along altitudinal range of Uttarakhand Himalayas: An aid to Nature Based Climate Solutions. *Catena*. 207, 105667. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105667>
- Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*. 220, 242-258. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015>
- Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., Brevik, E.C. (2016). Impact of topographic-aspect and vegetation on soil organic-carbon and nitrogen-budgets in Mediterranean natural-areas. *Science of The Total Environment*. 544, 963–970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.022>
- Maetouq, M.A.M. (2021). Farklı meşcerelerde toprakta ve ölü örtüde depolanan karbon miktarının belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 42 pages.
- Makineci, E., 1999. İ.Ü. Orman Fakültesi Araştırma Ormanındaki baltalıkların koruya dönüştürülmesi işlemlerinin ölü örtü ve topraktaki azot değişimine etkileri, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Toprak İlimi ve Ekoloji Programında Hazırlanmış Doktora Tezi (XXIV+213 Sayfa)
- Mısır, N., Mısır, M., Ülker, C. (2011). Karbon Depolama Kapasitesinin Belirlenmesi. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 26-28 Ekim. Kahramanmaraş, s. 524-531.
- Moore, I. D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A.E., Peterson, G.A. (1993). Soil attribute prediction using terrain

- analysis. Soil Science Society of America Journal. 57(2), 443–452. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020026x>
- Moser, G., Hertel, D., Leuschner, C. (2007). Altitudinal change in LAI and stand leaf biomass in tropical montane forests: a transect study in Ecuador and a pantropical meta-analysis. *Ecosystems*. 10:924–935. <https://doi.org/10.1007/s10021-007-9063-6>
- Mulder, C.P.H., Keall, S. (2001). Burrowing seabirds and reptiles: impacts on seeds, seedlings and soils in an island forest in New Zealand. *Oecologia*, 127, 350–360. <https://doi.org/10.1007/s004420000600>
- Özdemir, N. (2019). Farklı topografik yapı ve arazi kullanım koşullarında hacim ağırlığı ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri arasındaki ilişkiler. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7(2), 86-91.
- Post, W.M. Kwon, K.C. (2000). Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology*. 6, 317-327. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G. (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature*. 298, 155–159. <https://doi.org/10.1038/298156a0>
- Raich, J.W., Russell, A.E., Kitayama, K., Parton, W.J., Vitousek, P.M. (2006). Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology*. 87, 76–87. <https://doi.org/10.1890/05-0023>
- Rawlik, M., Kasprowicz, M., Jagodziński, A. M., Rawlik, K., Kaźmierowski, C. (2019). Slope exposure and forest stand type as crucial factors determining the decomposition rate of herbaceous litter on a reclaimed spoil heap. *Catena*. 175, 219–227. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.008>
- Rodrigues, A.C., Villa, P.M., Ferreira-Júnior, W.G. et al. (2021). Effects of topographic variability and forest attributes on fine-scale soil fertility in late-secondary succession of Atlantic Forest. *Ecological Processes*. 10, 62. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00333-1>
- Salinas, N., Malhi, Y., Meir, P., Silman, M., Roman Cuesta, R., Huaman, J., Salinas, D., Huaman, V., Gibaja, A., Mamani, M., et al. (2010). The sensitivity of tropical leaf litter decomposition to temperature: results from a large-scale leaf translocation experiment along an elevation gradient in Peruvian forests. *New Phytologist*. 89, 967–977. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03521.x>
- Sardans, J., Alonso, R., Janssens, I.A., Carnicer, J., Vereseglou, S., Rillig, M.C., et al. (2016). Foliar and soil concentrations and stoichiometry of nitrogen and phosphorous across European *Pinus sylvestris* forests: relationships with climate, N deposition and tree growth. *Functional Ecology*. 30(5), 676–89. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12541>
- Sariyıldız, T., Aygün, D.Ö., Parlak, S., Tani, M. (2022a). Effects of Land Use Types and soil Depths on Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks of Karacabey Floodplain Forests in Northwest Turkey. *Wetlands*. 42:102. <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01612-z>
- Sariyıldız, T., Savacı, G., Parlak, S., Gencal, B. (2022b). Uludağ Göknaı (Abies nordmanniana subsp. bornmülleriana Mattf.) meşcerelerinin toprak organik karbon, toplam azot ve besin element konsantrasyonları ve stokları üzerinde bakı ve yükseltinin etkisi. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*. 23(2), 159-174. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1117690>
- Sariyıldız, T., Anderson, J.M. (2006). Intra-specific variation in cell wall constituents of needle age classes of *Pinus sylvestris* in relation to soil fertility status in Southwest England. *Silva Fennica*. 40 (1), 15-26.
- Sariyıldız, T., Anderson, J.M., Kucuk, M. (2005). Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology and Biochemistry*. 37 (9), 1695-1706. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.004>
- Sariyıldız, T., Savacı, G., Kravkaz, I.S. (2015). Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(1), 165-170. <https://doi.org/10.3832/ifer1567-008>
- Sevgi, O. (2003), Bayramiç İşletmesi'nde (Kazdağları) Karaçam'ın (*Pinus nigra* Arnold.) Yükseltiye Göre Beslenme Büyüme İlişkileri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Singh, S.L., Sahoo, U.K., Gogoi, A., Kenye, A. (2018). Effect of Land Use Changes on Carbon Stock Dynamics in Major Land Use Sectors of Mizoram, Northeast India. *Journal of Environmental Protection*. 9, 1262-1285. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.912079>
- Staszal, K., Błońska, E., Lasota, J. (2021). Slope aspect and effect on selected soil organic matter characteristics in Beskid Mountains forest soils. *Folia Forestalia Polonica*. 63(3), 214-224. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0022>
- Sundqvist, M.K., Sanders, N.J., Wardle, D.A. (2013). Community and Ecosystem Responses to Elevational

- Gradients: Processes, Mechanisms, and Insights for Global Change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 44 (1), 261–280.
- Tahmaz, C. (2016). Mineral Toprakta Depolan Karbon ve Azota Ağaç Türlerinin Etkisi. (Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Fen Bil. Enst. Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, 83 pages.
- Tolunay, D. (2011). Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(3), 265-279.
- Tolunay, D., Çömez, A. (2008). Türkiye Ormanlarında toprak ve ölü örtüde depolanmış organik karbon miktarları. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*. 22-25 Ekim 2008, Hatay. 750-765.
- Tufekcioglu, A., Raich, J., Isenhardt, T. et al. (2003). Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems*. 57, 187–198. <https://doi.org/10.1023/A:1024898615284>
- Ullah, S., Frasier, R., King, L., Picotte-Anderson, N.P., Moore, T.R. (2008). Potential fluxes of N₂O and CH₄ from soils of three forest types in Eastern Canada. *Soil Biology and Biochemistry*., 40, 986-994. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.11.019>
- Wang, K., Zhang, C, Li., W. (2013). Predictive mapping of soil total nitrogen at a regional scale: A comparison between geographically weighted regression and cokriging. *Applied Geography*. 42, 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.04.002>
- Wiesmeier, M. Urbanski, L., Hobley, E., Lang, B., von Lütow, M., Marin-Spiotta, E., ... & Kögel-Knabner, I. (2019). Soil organic carbon storage as a key function of soils-a review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*. 333, 149–162. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.026>
- Vieira, S.A., Alves, L.F., Duarte-Neto, P.J., Martins, S.C., Veiga, L.G., Scaranello, M.A., Picollo, M.C., Camargo, P.B., do Carmo, J.B., Neto, E.S., Santos, F.A., Joly, C.A., Martinelli, L.A. (2011). Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and belowground pools in the Brazilian coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*. 1(3):421-34. <https://doi.org/10.1002/ece3.41>
- Vincent, A.G., Sundqvist, M.K., Wardle, D.A., Giesler, R. (2014). Bioavailable Soil Phosphorus Decreases with Increasing Elevation in a Subarctic Tundra Landscape. *PLoS ONE*. 9(3), e92942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092942>
- Xu, Z., Chang, Y., Li, L., Luo, Q., Xu, Z., Li, X., et al. (2018). Climatic and topographic variables control soil nitrogen, phosphorus, and nitrogen: Phosphorus ratios in a *Picea schrenkiana* forest of the Tianshan Mountains. *PLoS ONE*. 13(11): e0204130. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204130>
- Yang, Q., Niu, Y., Jing, W. (2015). Distribution Characteristics of Total Phosphorus and Total Potassium for Soil in *Picea crassifolia* Plantation at Different Altitudes in Haxi Forest Area at the East Segment of Qilian Mountains. *Protection Forest Science & Technology*. (9), 14–7.
- Ye, C.L., Chen, D.M., Hall, S.J., Pan, S., Yan, X.B., Bai, T.S., Guo, H., Zhang, Y., Bai, Y.F., Hu, S.J. (2018). Reconciling multiple impacts of nitrogen enrichment on soil carbon: Plant, microbial and geochemical controls. *Ecology Letters*. 21, 1162–1173. <https://doi.org/10.1111/ele.13083>
- Yılmaz, O. (1981). Daday-Devrekani masifi Ebrek metamorfizinin petrografisi ve tümkayaç kimyası. *Yerbilimleri*. 8, 71-82.
- Zhang, S., Zhang, X., Huffman, T. et al. (2011). Influence of topography and land management on soil nutrients variability in Northeast China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89, 427–438. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9406-0>
- Zhang, X.-M., Wang, Y.-D., Zhao, Y., Xu, X.-W., Lei, J.-Q. Hill, R.L. (2017). Litter decomposition and nutrient dynamics of three woody halophytes in the Taklimakan Desert Highway Shelterbelt. *Arid Land Research Management*. 31, 335–351. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1300613>
- Zhang, Y.-Y., Wu., W, Liu, H. (2019). Factors affecting variations of soil pH in different horizons in hilly regions. *PLoS ONE*. 14(6): e0218563. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218563>

Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Kestane (*Castanea sativa* Mill.) Ağaçlandırmaları İçin Uygun Alanların Belirlenmesi

Hasan AKSOY^{1,*}

^{1,*}Sinop Üniversitesi, Ayancık Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Sinop, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 26.04.2023

Kabul: 11.07.2023

Yayın: 15.07.2023

Araştırma Makalesi



Öz – Arazi kullanımının doğru ve verimli bir şekilde uygulanabilirliği için yer seçimi ve kullanım tipinin belirlenmesi çok önemlidir. En uygun yer seçimi, ülkemizde özellikle kırsal kesimlerde sosyal ve ekonomik yönden daha verimli bir kazanç elde edilmesini sağlayacaktır. Ülkemizde kırsal kalkınma için gelir getirici türlerin ağaçlandırma çalışmalarına yönelik teşvikler yapılmakta, dolayısıyla teşviklerden maksimum fayda ve kazanç sağlamak açısından amaca göre en uygun alanın belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, hem doğal yayılış gösteren hem de coğrafi işaret almış kestane ormanlarının bulunduğu Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Ayancık Orman İşletme Müdürlüğünde gerçekleştirildi. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak uygun kestane (*Castanea sativa* Mill.) ağaçlandırma alanları belirlendi. AHP için bonitet, arazi kullanımı, yükseklik, eğim ve bakı olmak üzere toplam beş kriter kullanıldı. Bu kriterlere ilişkin uygunluk haritaları ağırlıklarına göre çakıştırılarak uygun kestane ağaçlandırma alanı haritası oluşturuldu. Sonuçlar kestane ağaçlandırması için çalışma alanının %0,42 (340,57 ha)'sinin çok uygun, %2,38 (1.906,25 ha)'inin uygun, %22,96 (18.410,75 ha)'sının orta uygun, %63,54 (50.952,75 ha)'ünün uygun olmayan ve %10,70 (8.584,00 ha)'inin ise hiç uygun olmayan alanlardan oluştuğu tespit edildi. Çalışma alanının %25,76 (22.904,39 ha)'lık kısmında yapılacak kestane ağaçlandırması için yüksek verim ve kazanç sağlanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler – Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), kestane (*Castanea sativa* Mill.), ağaçlandırma

Determination of Suitable Areas for Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Afforestation with Analytic Hierarchy Process

^{1,*}Sinop University, Ayancık Vocational School, Department of Forestry, Sinop, Türkiye

Article History

Received: 26.04.2023


Accepted: 11.07.2023

Published: 15.08.2023

Research Article

Abstract – Site selection and determination of the type of use are very important for the correct and efficient implementation of land use. The most appropriate site selection will ensure a more socially and economically efficient gain in our country, especially in rural areas. In our country, incentives are provided for the afforestation of income-generating species for rural development, so it is necessary to determine the most suitable area according to the purpose in order to obtain maximum benefit and gain from incentives. This study was carried out in Ayancık Forest Management Directorate, Sinop Regional Directorate of Forestry, where there are both naturally distributed and geographically marked chestnut forests. In the study, suitable chestnut (*Castanea sativa* Mill.) afforestation areas were determined using Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP) method. A total of five criteria were used for AHP: bonitet, land use, elevation, slope, and aspect. The suitability maps for these criteria were overlaid according to their weights and a map of suitable chestnut afforestation areas was created. The results showed that 0.42% (340.57 ha) of the study area was very suitable, 2.38% (1,906.25 ha) was suitable, 22.96% (18,410.75 ha) was moderately suitable, 63.54% (50,952.75 ha) was not suitable and 10.70% (8,584.00 ha) was not suitable at all. Chestnut afforestation in 25.76% (22,904.39 ha) of the study area is expected to provide high yield and profit.

Keywords – Geographic Information Systems (GIS), Analytic Hierarchy Process (AHP), chestnut (*Castanea sativa* Mill.), afforestation

¹  haksoy@sinop.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hasan AKSOY

1. Giriş

Ormanlar, toplumun doğrudan ya da dolaylı olarak faydalandığı pek çok ürün ve hizmeti doğal süreç içerisinde kendi kentine üretme yeteneğine sahiptir. Özellikle son yıllarda etkisini ve şiddetini hissettiren küresel ve çevresel boyuttaki felaketlerin yavaşlatılması ve önlenmesinde oynadığı rol nedeniyle ormanlar tüm dünya geleceğinin sigortası konumundadırlar (Kaptan, 2018; Aksoy, 2022). Aynı zamanda ormanlar iklim düzenleme, su koruma, toprak koruma ve biyoçeşitliliğin korunması gibi fayda ve hizmetler sunan karasal bir ekosistemdir (Asan, 2003). İnsanlık tarihinin başlangıcından günümüze kadar orman kaynaklarından en başta odun hammaddesi ihtiyacını karşılamak amacıyla faydalanırken, zamanla faydalanmanın şekli ve şiddeti değişmiştir. Nüfus artışı, hızlı sanayileşme, hammadde ihtiyacı vb. gibi ihtiyaçlar yaygın ormansızlaşma tehlikesini artırmaktadır (Allen ve Barnes, 1985). Sürdürülebilir orman yönetimi için de ormanlardan sadece oduna dayalı bir faydalanma değil, ormanların sunduğu diğer fayda ve fonksiyonlardan yararlanmayı teşvik ederek ormanlar üzerindeki baskının azaltılması ve orman alanlarının genişletilmesi gerekmektedir (Swamy vd., 2018; Sabir vd., 2022).

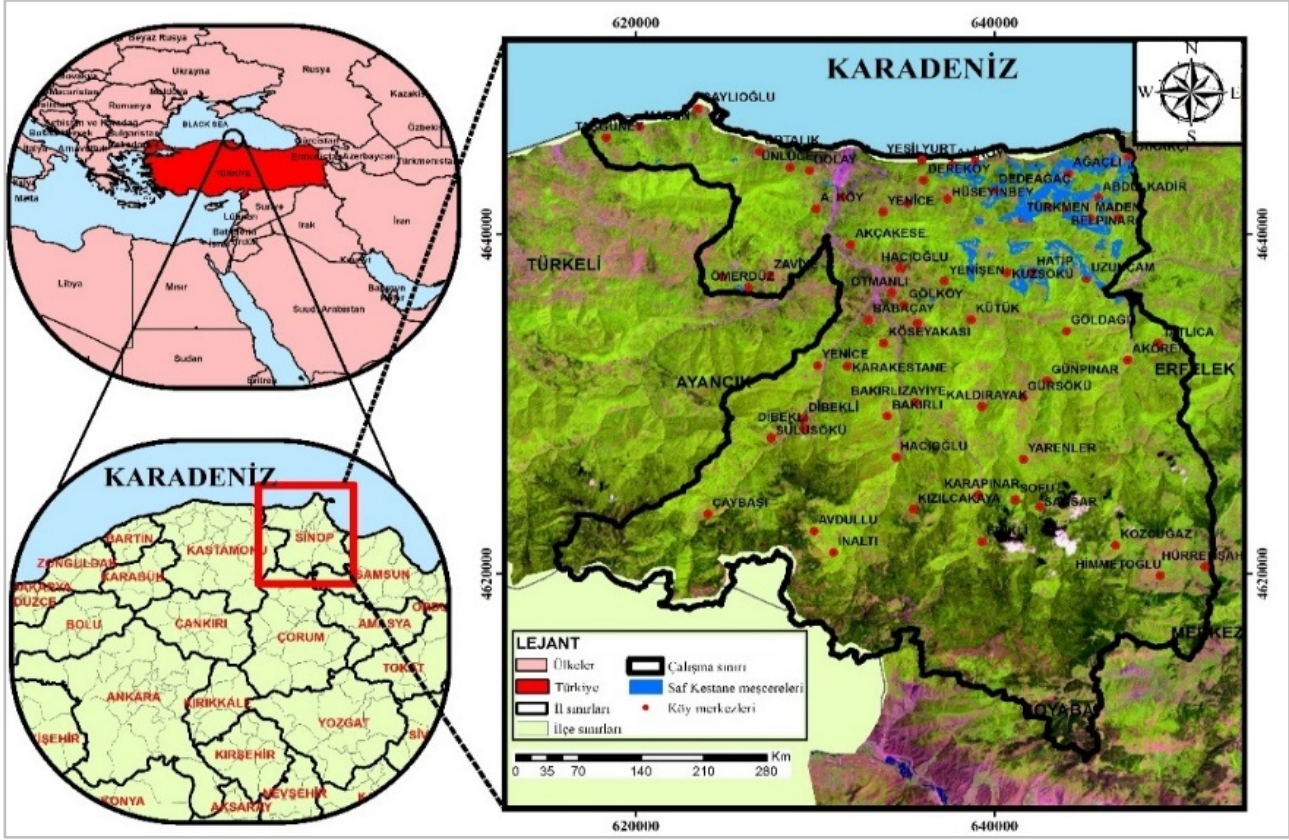
Orman alanlarının artırılması ve ormanlardan odun dışı ürünlerden faydalanmayı mümkün kılacak yeni ağaçlandırma faaliyetleri sürdürülebilir orman yönetimine katkının yanında, karbon tutma kabiliyeti ile de iklim değişikliğini azaltma gibi faydalar sağlamaktadır (Zomer vd., 2008). Yeni ağaçlandırmalar için kırsal halkın hükümetler tarafından bilgilendirilmesi, maddi ve maddi olmayan teşvikler ile desteklemesi gerekmektedir (Kassioumis vd., 2004; Sabir vd., 2022). Ülkemizde de son yıllarda kırsal halkın sosyal ve ekonomik yönden gelişmesine katkı sağlayacak teşvikler yapılmaktadır. Özellikle orman içi açıklıkların değerlendirilmesi açısından, bu alanların gelir getirici ve tıbbi aromatik bitkiler ile ağaçlandırılması şartıyla halka sunulması, halkı odun dışı orman ürünlerinden faydalanmaya teşvik etmektedir (OGM, 2021). Fakat yapılan bu teşvikler için iyi politikalar uygulanarak amaçlara verimli bir şekilde ulaşılması hedeflenirken, yetersiz uygulama ve izleme mekanizmaları nedeniyle amaçlanan sonuçlara ulaşılmayabilmektedir (Upton vd., 2014). Bunun yanı sıra yeni ağaçlandırmalar çok yıllık olması nedeni ile yanlış bir uygulamanın doğuracağı sonuçların etkisi uygulayıcıları yıllarca etkileyecek bir potansiyeli de barındırdığı belirtilmektedir (Duesberg vd., 2014). Bu bağlamda, yapılacak ağaçlandırma çalışmalarında uygun yer ve tür seçimi hayati öneme sahiptir. Her bir ağaç türünün farklı çevresel isteklerde doğal olarak gelişim göstermesi bu uygulamayı mecburi kılmaktadır. Özellikle ağaçların doğal yayılışlarını etkileyecek iklim koşulları nedeni ile her ağaç her bölgede ve konumda doğal olarak gelişim göstermeyebilmektedir. Mevcut ve yeni yapılacak ağaçlandırmalardan amaca yönelik yüksek fayda ve verim elde etmek açısından uygun yer ve tür seçimi gereklidir (Sabir vd., 2022). En uygun yer seçiminde birçok alt Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi bulunmaktadır. Bunlar içerisinde en yaygın olanı Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemidir. Literatürde de AHP ağaçlandırma çalışmalarında ÇKKV sistemi olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları; (Pereira vd., 1993; Store ve Kangas, 2001; Özel vd., 2014; Yılmaz ve Surat, 2015; Aguirre-Salado vd., 2015; Gökhan ve Güngör, 2018). Bu çalışmada Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde uygun kestane ağaçlandırma alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ve ÇKKV teknikleri ile tespit edilmesi amaçlandı. Yapılan bu çalışmanın kestane ağaçlandırmalarında risklerin azaltılması, daha yüksek verim ve fayda sağlanmasına katkı sunması beklenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

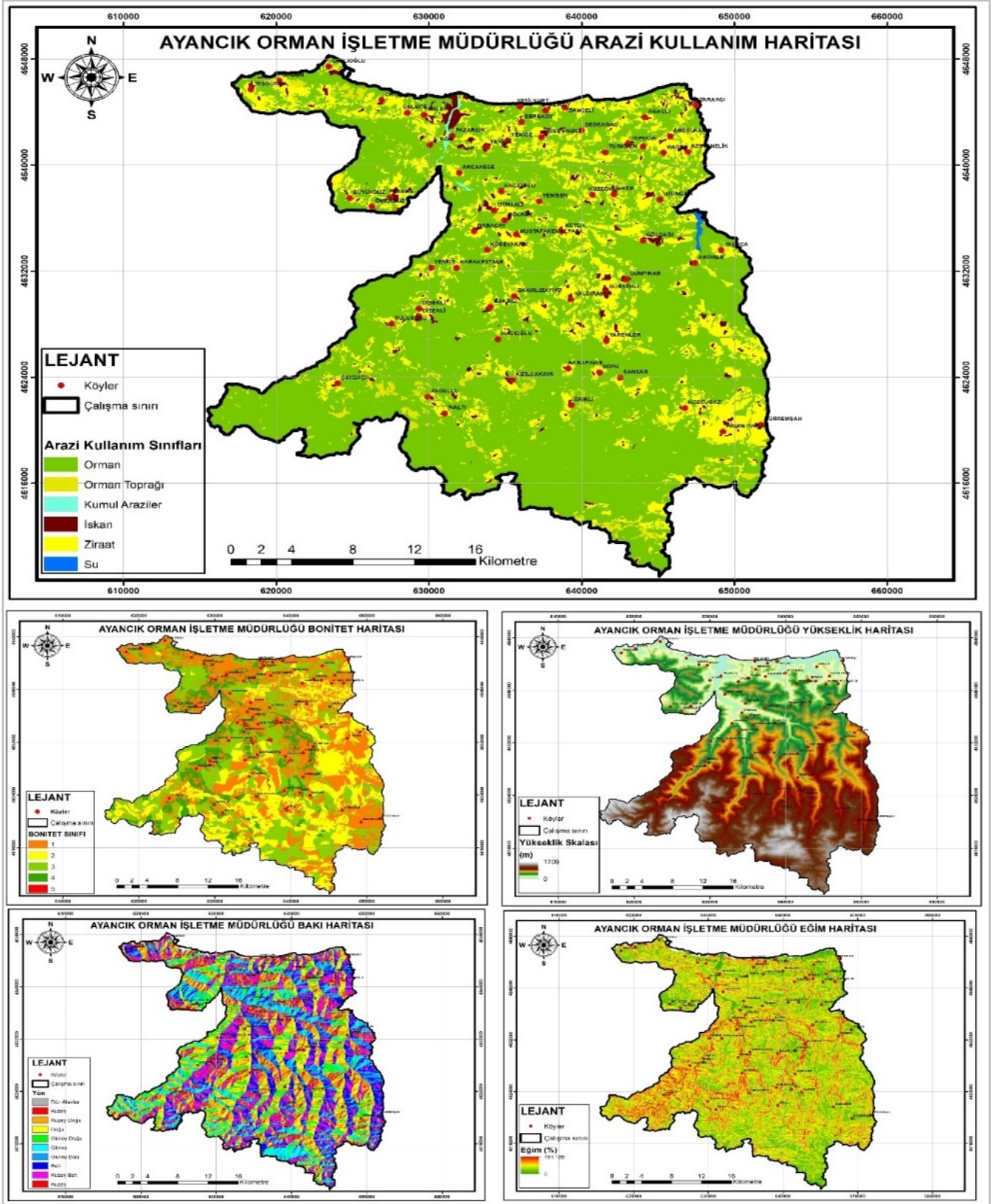
Çalışma Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sınırı 4648241.35 - 4608997.43 Kuzey enlemleri ile 615504.93 - 652508.08 Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü 11 adet Orman İşletme Şefliği ve 1 adet Depo Şefliği olmak üzere toplam 12 Şeflikten oluşmaktadır. Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü'nün genel alanı 80.195 hektar olup, bunun 61.456 hektarı (%77) ormanlık alan, 18.739 hektarı (%23) açıklık

alandan oluşmaktadır. Ormanlık alanın 54.189 hektarı (%88) normal kapalı orman, 7.267 hektarı (%12) boşluklu kapalı ormandır (Anon., 2011). Çalışma alanının coğrafik olarak konumu Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafik konumu

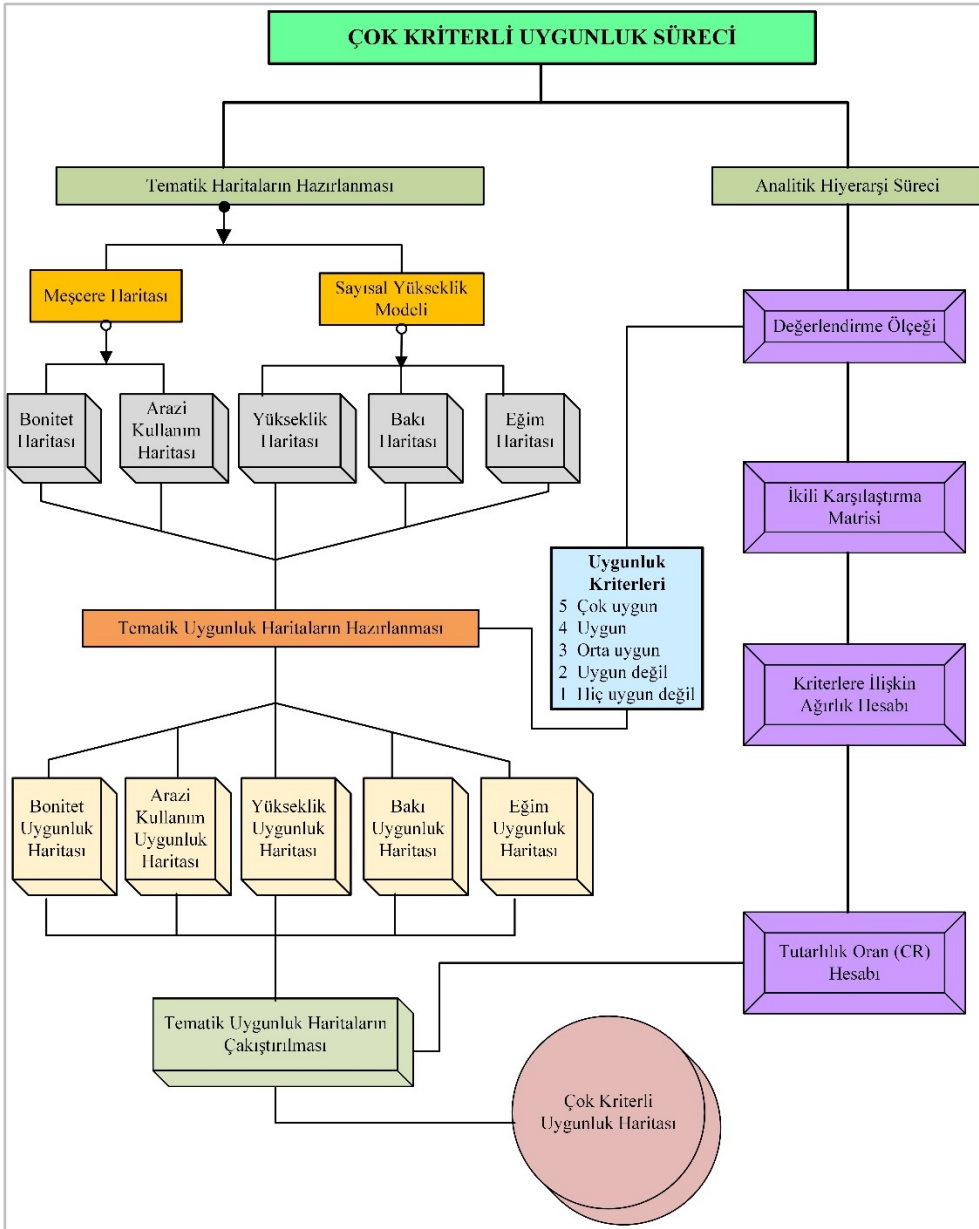
Çalışmada Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü'nün orman amenajman planları için üretilen meşcere tipleri haritası, çalışma alanı için üretilmiş eğim, bakı ve yükseklik haritaları kullanıldı. İşletme müdürlüğüne ait meşcere tipleri haritasından yararlanılarak bonitet ve arazi kullanım haritaları türetildi. Çalışmada kullanılan toplam 5 altlık tematik harita Şekil 2’de gösterildi.



Şekil 2. Altlık tematik harita serisi

2.2. Yöntem

Çalışmada kestane ağaçlandırma alanlarının tespiti için CBS ve AHP çok kriterli karar verme yönteminden yararlanıldı. CBS ile AHP için gerekli tematik haritalar oluşturuldu. Daha sonra ÇKKV yöntemiyle çalışma sınırları içerisinde en uygun kestane ağaçlandırma alanları tespit edildi. Çalışmaya ilişkin genel metodoloji Şekil 3’te gösterildi.



Şekil 3. Çalışmaya ilişkin iş akış şeması

Çalışma iki ana aşamada gerçekleştirildi. Birinci aşama analiz için tematik haritalara ilişkin verilerin teminini, ikinci aşama ise AHP ile uygunluk analizinin gerçekleştirilmesidir. Birinci aşamada ilk olarak arazi kullanım haritası için arazi kullanım sınıfları ve uygunluk dereceleri belirlendi. Arazi kullanımına ilişkin orman, orman toprağı, kumul araziler, iskân, ziraat ve su olmak üzere toplam 6 sınıf belirlendi (Şekil 2). Kestane aslı orman ağacımız olmasının yanında özel ağaçlandırmaya da konu bir tür olduğundan arazi kullanım sınıflarının uygunluk dereceleri sosyo-ekonomik işlevde göz önünde bulundurularak belirlendi. Buna bağlı olarak ağaçlandırmaya uygun olacak ziraat ve orman toprağı (orman içi açıklıklar) en uygun (5) yerler olarak belirlenirken, su ve iskân alanları gibi sınıflar hiç uygun olmayan yerler olarak belirlendi (1). Kestane ağaçlandırmaları için en önemli kriterlerden bir tanesi de bonitet verileridir. Çünkü bonitet; belirli bir yerin belirli bir ağacı yetiştirme gücünü ifade ettiğinden, kestane ağacının edafik, iklimik vb. faktörler itibarı ile isteklerini en yüksek düzeyde karşılayacak alanların öncelikli olarak belirlenmesi hayati öneme sahiptir. Buna bağlı olarak geleneksel orman amenajman planlarından alınmış 1 en iyi bonitet, 5 ise en kötü bonitet (Şekil 2) olan alanlar uygunluk derecelerinde 1. bonitet ağaçlandırma için en uygun (5) alan ve 5. bonitet hiç uygun olmayan alanlar olacak şekilde toplam beş sınıfa ayrıldı. Çalışma alanı için eğim, bakı ve yükseklik verileri ALOS-PALSAR uydu görüntüsünden temin edilen dijital sayısal modeli (DEM) kullanılarak elde

edildi. Yine kestane ağaçlandırması için önemli bir kriter olan deniz seviyesinden olan yükseklik için de beş sınıf kullanıldı. Sınıfların ayırımında Mayr'ın orman zonları kullanıldı. En iyi gelişim gösterdiği deniz seviyesinden olan yüksekliği 250 – 650 m olan alanlar kestane ağaçlandırılmasında en uygun (5) alanlar olarak belirlendi (Mayr, 1909; Saatçioğlu, 1976). Sosyo-ekonomik olarak kırsal halk için gelir kaynağı olması dolayısı ile kestane ağaçlandırmalarının makineli üretim ve insan gücüne elverişli alanların belirlenmesi açısından eğim kriteri de çalışmaya bir diğer girdi olarak dahil edildi. Eğim grupları da Uluslararası Orman Araştırma Kuruluşları Birliği (IUFRO) tarafından kabul edilen düz eğimli (%0- %10), hafif eğimli (%11- %20), orta eğimli (%21- %33), dik eğimli (%34- %50) ve çok dik eğimli (>%51) olmak üzere beş sınıfa ayrıldı. Düz eğimli alanlar en uygun (5) çok dik eğimli alanlarda kestane ağaçlandırması için hiç uygun olmayan alanlar olarak (1) gruplandı. Son olarak bakı haritası da geleneksel yön grupları kullanılarak -1 ile 360 derece aralığında olmak üzere 9 sınıfa ayrıldı (Şekil 2). Güney ağırlıklı bakılar en uygun alanlar olarak belirlendi ve AHP analizi için gerekli veri setleri oluşturuldu. Kullanılan parametreler, parametrelerdeki gruplar ve grup puan değerleri bir tablo halinde verilirse daha açıklayıcı olur.

Çalışmanın ikinci aşaması ise kestane ağaçlandırmaları için uygunluk haritasının oluşturulması kısmını kapsamaktadır. Uygunluk haritasının üretilmesi için CBS tabanlı ÇKKV yöntemi, ÇKKV çözümünde ise AHP kullanıldı. Genel uygunluk haritası ArcGIS 10.7 yazılımında ağırlıklı bindirme analizi ile elde edildi. AHP birey ve sınıfların önem düzeylerini dikkate alan, nicel ve nitel girdileri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntem olup, karar vericinin tüm alternatiflerini tüm kriterler ile beraber değerlendirerek, birbirlerinin göreceli önemlerine göre ikili karşılaştırmalar yapması prensibine dayanmaktadır (Gülenç ve Bilgin, 2010; Arca ve Çıtıroğlu, 2022). AHP süreci 4 ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama AHP değerlendirme ölçeğinin belirlenmesini içermektedir. Çalışmada Tablo 1'de gösterilen ölçek kullanılmıştır (Saaty, 1977; Arca ve Çıtıroğlu, 2022).

Tablo 1

AHP değerlendirme ölçeği

Önem Düzeyi	Açıklama
1	Eşit derece önemli
3	1. ölçüt 2.'ye göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2.'ye göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2.'ye göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2.'ye göre olası en kuvvetli öneme sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler, uzlaşma gereken durumlarda kullanılmaktadır

İkinci aşamada ise AHP değerlendirme ölçeğinden yararlanılarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturuldu. Bu aşamada kriterlerin hangisinin daha önemli olduğu ve ilgi kriterin diğer kriterlere kıyasla önem dereceleri belirlendi (Tablo 2).

Tablo 2

Karşılaştırma matrisi

Kriterlere Ait Önemlilik Düzey Matrisi					
Parametreler	a	b	c	d	e
(a) Bonitet	1	3	5	6	9
(b) Arazi kullanımı	1/3	1	3	4	7
(c) Yükseklik	1/5	1/3	1	3	5
(d) Bakı	1/6	1/4	1/3	1	5
(e) Eğim	1/9	1/7	1/5	1/5	1

Üçüncü aşamada ise kriterlere ilişkin ağırlık hesaplamaları yapıldı. Son aşamada ise kriterler arasındaki rastgele oluşturulan önem matrisinin tutarlılığı ölçmek için tutarlılık oranı (CR) hesaplandı (Formül 1).

Tutarlılık oranı tutarlılık indeks değerinin (CI) rastgele indeks değerine (RI) oranlanması ile elde edildi. RI değeri kriter sayısına bağlı olarak kullanılan sabit bir katsayı olup (1,12), CI değeri ise tutarlılık ortalamasının toplamı ve kriter sayısı ile hesaplandı (Formül 1). Tutarlılık hesabı Formül 2’de gösterildi.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (1)$$

** λ tutarlılık vektör ortalaması toplamı, n kriter sayısı

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

AHP analizine ilişkin tutarlılık oranının %10’nu geçmemesi önerilmektedir. Bu oranın %10’nu geçmesi kriterler arasında değerlendirme ölçeğinde bir tutarsızlık olduğu ve tekrar değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmektedir (Saaty, 2000). AHP sürecinde kriterlere ilişkin ağırlık hesapları elde edildikten sonra tematik uygunluk haritaları ArcGIS yazılımında ağırlıklı bindirme komutu kullanılarak çakıştırılmış ve kestane ağaçlandırmaları için uygunluk haritası elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

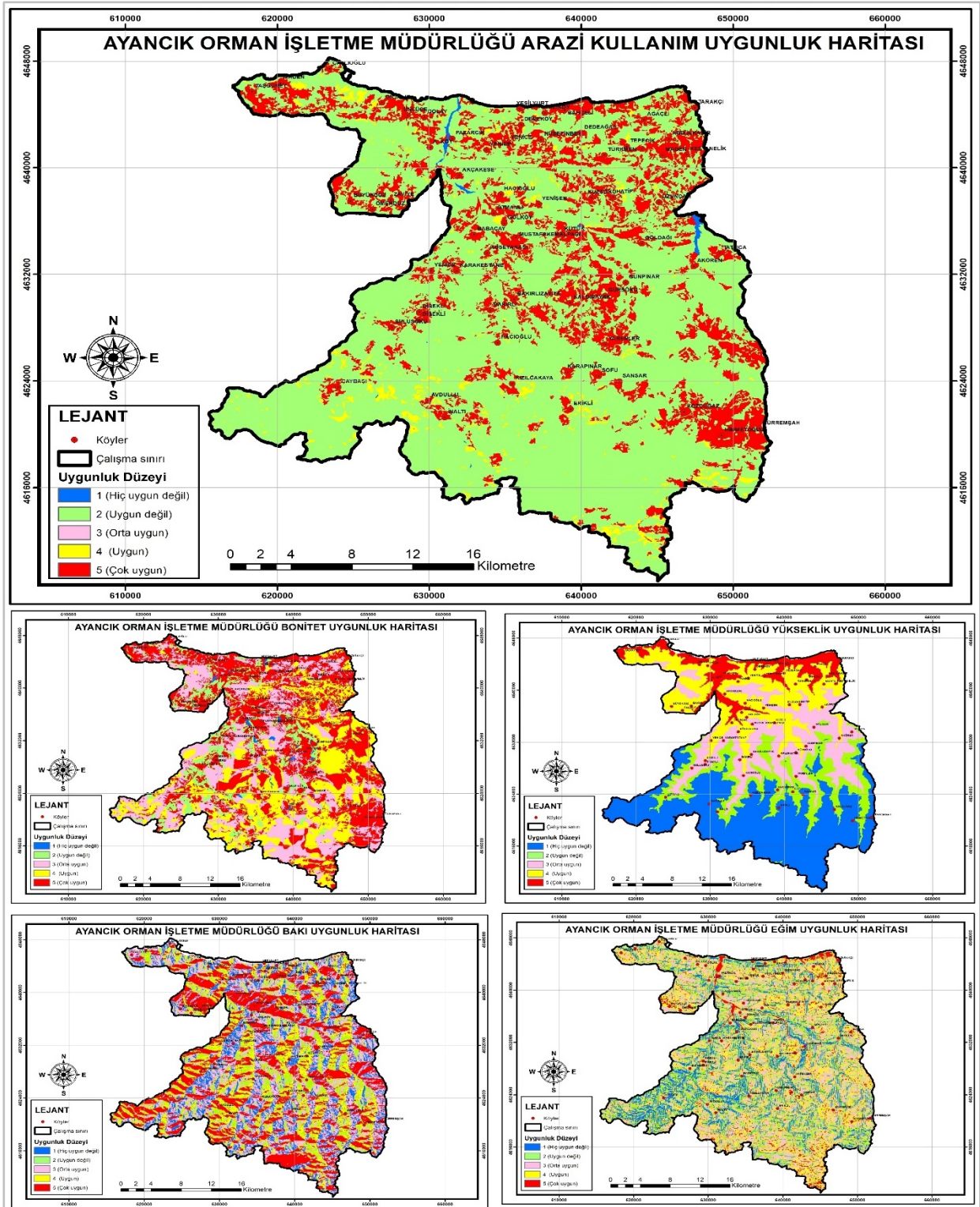
Bu çalışmada CBS ve AHP ile Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde uygun kestane ağaçlandırma alanları haritası üretildi. AHP sürecinde matris ve ağırlık hesaplamalarına ilişkin sonuçlar Tablo 3’te gösterildi.

Tablo 3

AHP karşılaştırma matrisleri ve ağırlık hesaplamaları

Kriterlere Ait Önemlilik Düzey Matrisi						Kriterlere Ait Ağırlık Hesaplamaları							
Parametreler	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	Toplam	Ağırlık	%
(a) Bonitet	1	3	5	6	9	0,55	0,63	0,52	0,42	0,33	2,47	0,49	49,35
(b) Arazi kullanımı	1/3	1	3	4	7	0,18	0,21	0,31	0,28	0,26	1,25	0,25	25,03
(c) Yükseklik	1/5	1/3	1	3	5	0,11	0,07	0,10	0,21	0,19	0,68	0,14	13,65
(d) Bakı	1/6	1/4	1/3	1	5	0,09	0,05	0,03	0,07	0,19	0,44	0,09	8,71
(e) Eğim	1/9	1/7	1/5	1/5	1	0,06	0,03	0,02	0,01	0,04	0,16	0,03	3,27
Toplam	1.81	4.73	9.53	14.20	27	1	1	1		1 1	5	1	100
Kriterlere Ait Önemlilik Düzey Ağırlıkları						Genel Sonuçlar							
Parametreler	a	b	c	d	e	Toplam	T/A	Ort. (T/A)	CI	Tutarlılık (CR)			
(a) Bonitet	0,49	0,75	0,68	0,52	0,29	2,74	5,56	5,36	0,09	0,08			
(b) Arazi kullanımı	0,16	0,25	0,41	0,35	0,23	1,40	5,60						
(c) Yükseklik	0,10	0,08	0,14	0,26	0,16	0,74	5,45						
(d) Bakı	0,08	0,06	0,05	0,09	0,16	0,44	5,06						
(e) Eğim	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,17	5,13						

Çalışmada uygunluk için (5) çok uygun, (4) uygun, (3) orta uygun, (2) uygun değil ve (1) hiç uygun değil olmak üzere beş düzey belirlendi. Kriterlere ilişkin tematik uygunluk haritaları Şekil 4’de gösterildi.



Şekil 4. Tematik uygunluk harita serisi

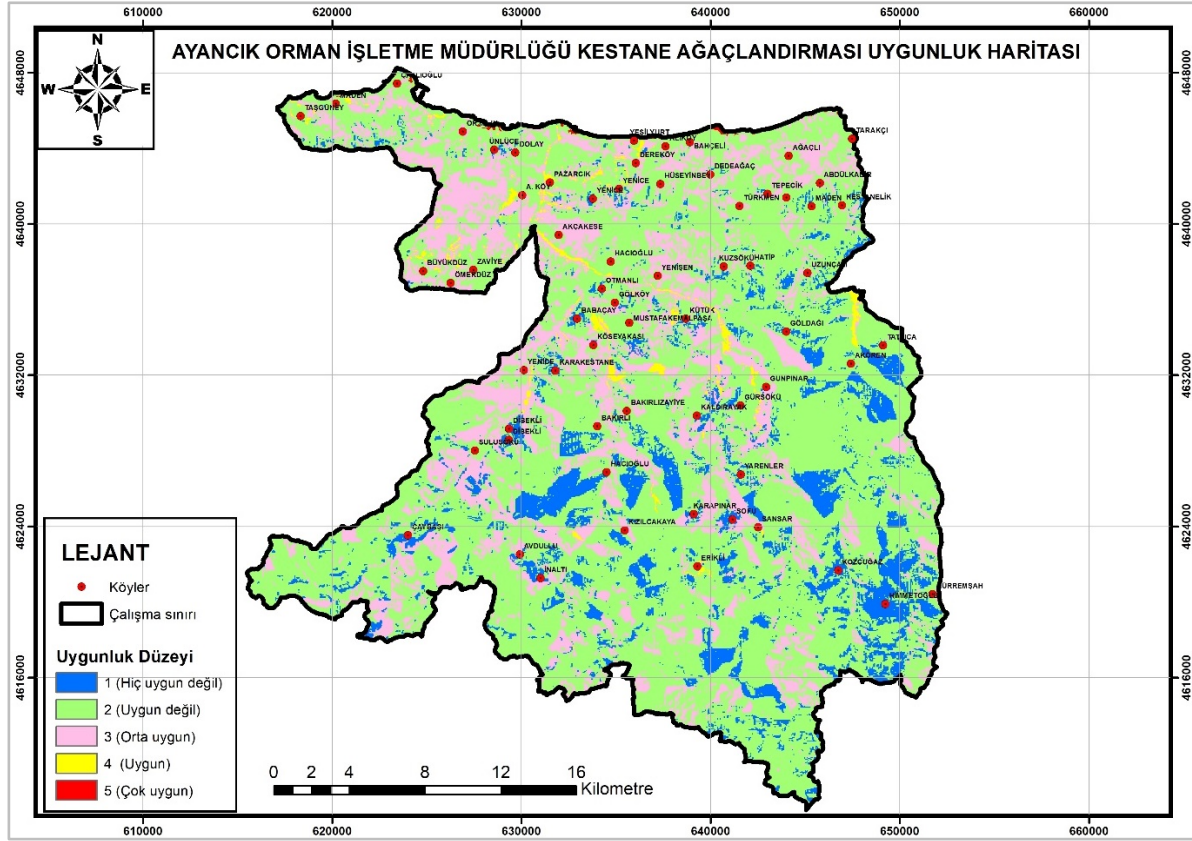
Tablo 3 incelendiğinde tutarlılık oranının %10'un altında (%8) olması ikili karşılaştırma matrisi sonucu bulunan değerlerin birbirleriyle tutarlı olduklarını göstermektedir. Önemlilik düzeylerinde kriterlere ilişkin ağırlık hesapları incelendiğinde de bonitet, arazi kullanımı, yükseklik, bakı ve eğim kriterleri için ağırlık oranları sırası ile %49,35, %25,03, %13,65, %8,71 ve %3,27 olarak hesaplandı. Çalışmada kriterlerin uygunluk derecelerine ilişkin alansal ve oransal değerleri Tablo 4'te gösterildi.

Tablo 4

Analiz kriterlerinin uygunluk derecelerine ilişkin alansal değerleri

Bonitet Derecesi	Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı	Yükseklik (m)	Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı
1	30.000,51	37,41	5	0- 250	6.390,00	7,97	4
2	20.640,87	25,74	4	251- 650	16.290,25	20,31	5
3	21.465,72	26,77	3	651- 850	16.391,50	20,44	3
4	7.695,72	9,60	2	851- 1050	12.192,75	15,20	2
5	391,50	0,49	1	>1051	28.929,25	36,07	1
Toplam	80.194,32	100		Toplam	80.193,75	100,00	
Eğim (%)	Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı	Bakı (Yönler)	Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı
0- 10	5.377,25	6,71	5	Kuzeybatı	10.851,50	13,53	1
11- 20	14.789,25	18,44	4	Kuzey	12.815,75	15,98	3
21- 33	26.849,25	33,48	3	Kuzeydoğu	11.459,50	14,29	2
34- 50	21.695,25	27,05	2	Doğu	10.303,75	12,85	4
>51	11.482,75	14,32	1	Güneydoğu	8.091,25	10,09	5
Toplam	80.193,75	100,00		Güney	7.937,00	9,90	5
				Güneybatı	8.058,25	10,05	5
Arazi Kullanımı	Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı		Alan (ha)	Oran (%)	Uygunluk Puanı
Orman Alanı	59.055,66	73,64	2	Batı	10.138,50	12,64	3
Orman Toprağı	2.733,39	3,41	4	Düz Alanlar	538,29	0,67	5
Kumul Alanlar	158,31	0,20	1	Toplam	80.193,79	100,00	
Su Alanı	115,11	0,14	1				
Yerleşim Alanı	1.825,92	2,28	2				
Ziraat Alanı	16.305,93	20,33	5				
Toplam	80.194,32	100,00					

Tablo 4 incelendiğinde kriterlere ilişkin en uygun (5) düzeye ait en yüksekten en aza doğru alansal oranlar bonitet, bakı, arazi kullanımı, yükseklik ve eğim için sırası ile %37,41, %30,71, %20,33, %7,97 ve %6,71 olarak hesaplandı. Ağaçlandırmaya en uygun ve en yüksek alan bonitet kriterinde olduğu tespit edildi. En uygun ağaçlandırma alanı için en düşük oran ise eğim kriterinde elde edildi. Ağaçlandırma için uygun (4) düzeye ilişkin alansal oranlarda ise en yüksek yine bonitet (%25,74), daha sonra yükseklik (%20,31) kriterine ait olduğu tespit edildi. Uygun düzeye ilişkin en düşük alansal oran ise %3,41 oranla arazi kullanım kriterinde olduğu tespit edildi. Hiç uygun olmayan (1) düzeye ilişkin en yüksek alansal oran ise yükseklik kriterinde hesaplandı (%36,07). Bütün kriterlerin ağırlıklı olarak çakıştırılması ile elde edilen genel ağaçlandırmaya uygunluk haritası Şekil 5'te, uygunluk düzeylerine ilişkin alansal ve oransal değerlerde tablo 5'te gösterildi.



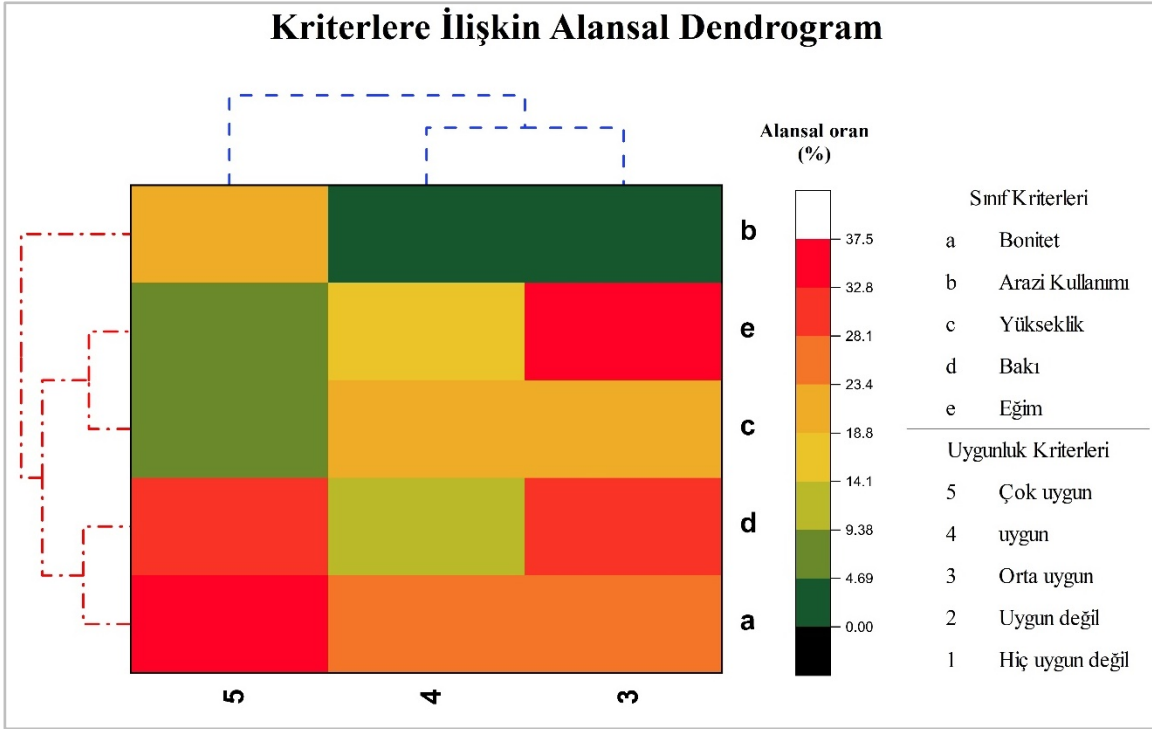
Şekil 4. Ağaçlandırma uygunluk haritası

Tablo 5

Kestane ağaçlandırması uygunluk düzeylerine ilişkin alansal değerler

Uygunluk Derecesi	Uygunluk Durumu	Alan (ha)	Oran (%)
5	Çok uygun	340,57	0,42
4	Uygun	1.906,25	2,38
3	Orta uygun	18.410,75	22,96
2	Uygun değil	50.952,75	63,54
1	Hiç uygun değil	8584,00	10,70
Toplam Alan		80.194,32	100

Genel uygunluk verileri incelendiğinde (tablo 5) 340,57 ha'lık alanın kestane ağaçlandırması için çok uygun alan olduğu (%0,42), 1.906,25 ha alan ise yine kestane ağaçlandırması için uygun alan olduğu tespit edildi. %73,64'lük kısmını orman alanını oluşturan çalışma sınırında %25,76 oranında kestane ağaçlandırmasına uygun (5, 4, 3) alan olduğu tespit edildi. Ağaçlandırmaya uygun olmayan (2) %63,54 oranındaki alanın büyük bir kısmı arazi kullanım sınıflarından orman alanının olduğu tespit edildi. Sabir vd., (2022) yapılan bir araştırmada ağaçlandırmalar için bitki tür seçimi için ÇKKV kullanmışlardır. Karar vermede maliyet, tekrar üretilebilirlik, büyüme hızı, çevresel uyumluluk (toprak uyumluluğu, sıcaklık, yağış), çevresel etkiler (orman, toprak erozyon kontrolü) ve arazi kullanımları (tıbbi, inşaat ve yem alanları) olmak üzere 6 farklı kriter kullandılar. Yine AHP kullanılarak Konya ilinde ağaçlandırma için uygun alanları tespit etmeyi amaçlayan bir çalışmada da yağış, arazi kullanım kabiliyeti, büyük toprak grupları, eğim, bakı ve erozyon olmak üzere altı farklı kriter belirlemişlerdir. Çalışma alanının %15'inin ağaçlandırma alanı için en uygun, %25,52'sinin uygun olduğu, %28,95 orta uygunlukta olduğunu tespit etmişlerdir (Yağcı ve İşcan, 2020). Kangas (1993) sosyal-ekonomik fonksiyona hizmet verecek (kereste üretimi) yeni ağaçlandırma ve yer seçiminde ÇKKV tekniği kullandı. Çalışmada uygunluk dereceleri ile kriterler arasındaki alansal benzerlikler kendi içlerinde ve birlikte değerlendirildi. Benzerliklere ilişkin dendrogram Şekil 5'te gösterildi.



Şekil 5. Uygunluk dereceleri ve kriterlere ilişkin alansal dendrogram

Dendrogram incelendiğinde kriterler arasında en yüksek oransal benzerlik yükseklik ve eğim kriterleri arasında olduğu görülmektedir. Daha sonra en yüksek benzerlik ise bonitet ve bakı kriterlerinde olduğu görüldü. En düşük benzerlik ise arazi kullanım sınıfındadır. Uygunluk düzeylerine ilişkin sonuçlarda ise en yüksek benzerlik uygun (4) ve orta uygun (3) düzeylerde gerçekleştiği görülmektedir. Yine yapılan başka bir araştırmada ise farklı karar verme metotları kullanılarak kayın, ladin ve çam türlerinden ağaçlandırmada kullanılacak en uygun türün belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada en yüksek doğruluk AHP metodunda elde edilmiştir (Gilliams vd., 2005; Estrella vd., 2014). Muğla ve Türk, (2020) tarafından potansiyel ağaçlandırma sahalarını analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlemeye çalışmışlardır. Sonuçlar önceden projelendirilen ağaçlandırma sahaları ile elde edilen uygunluk haritası arasında %81,13'lük bir örtüşme olduğunu tespit etmişlerdir. Gürkaynak (2014) tarafından CBS kullanılarak yapılan çalışmada, Kahta Devlet Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki potansiyel ağaçlandırma alanları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında orman toprağı (OT), yükseklik, eğim, bakı ve ortofotolardan elde edilen baraj, yol ve iskân alanlarına yakınlık kriterlerini kullanmıştır. İlgili kriterlere göre bölmeciklerin potansiyel öncelik sınıfları tespit edilmiş ve ağaçlandırılması gereken alanları belirlemiştir.

4. Sonuçlar

Ağaçlandırma çalışmalarında yeri seçimi ile devam eden süreçte kararların bilimsel yöntemlerle alınması başarı sağlanması ve verimliliğin yükselmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Bozatalı, 1986; Birler, 2009). Elde edilen sonuçlar Ayancık Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde ikamet eden kırsal ve yerel halk için kestane ağaçlandırılmasında öncelikli alanlar tespit edildi. Böylece yapılacak kestane ağaçlandırmalarında daha yüksek verim ve kazanç elde edilebilecek alanlar belirlendi. Özellikle Orman Genel Müdürlüğü'nün orman sınırları içerisinde orman içi açıklıkların gelir getirici türler ağaçlandırması şartı ile halka sunduğu olanaklarda kestane için en doğru yer seçiminde büyük katkı sağlayacaktır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda AHP sürecine dahil edilen kriter sayısının amaca özgü ve daha spesifik kriterler ile desteklenmesi sonuç doğruluğunu artıracaktır. Bunun yanı sıra yöre halkına yapılacak anket sonuçlarının da sürece dahil edilmesi yer seçimi seçimine olumlu yönde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Aguirre-Salado, C. A., Valdez-Lazalde, J. R., Sánchez-Díaz, G., Miranda-Aragón, L., & Aguirre-Salado, A. I. (2015). Modelling site selection for tree plantation establishment under different decision scenarios. *Journal of Tropical Forest Science*, 298-313. <https://www.jstor.org/stable/43490288>
- Aksoy, H. (2022). Sinop Orman Bölge Müdürlüğü Saf Sariçam Meşcerelerinde Farklı Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak Bazı Meşcere Parametrelerinin Modellenmesi. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 160 sayfa, Çankırı.
- Allen, J.C. and Barnes, D.F. (1985). The causes of deforestation in developing countries. *Annals of the Association of American Geographers*, 75(2), 163-184. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1985.tb00079.x>
- Anonim, (2011). Orman Genel Müdürlüğü, Ayancık Orman Amenajman Planı. Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Ankara: OGM.
- Arca, D. ve Çıtıroğlu, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1), 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Asan, Ü. 2003. Orman Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, İstanbul (Ders notları).
- Birler, A. S. (2009). Endüstriyel orman ağaçlandırmaları. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın*, 4, 256.
- Bozatlı, A. 1986. Ağaçlandırma yatırımlarında yeni bir çağır: Taahhüt Sistemi, Ağaçlandırma, Tarım
- Duesberg, S., Dhuháin, Á. N., & O'Connor, D. (2014). Assessing policy tools for encouraging farm afforestation in Ireland. *Land Use Policy*, 38, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.11.001>
- Estrella, R., Delabastita, W., Wijffels, A., Cattrysse, D., and Van Orshoven, J. (2014). Comparison of multicriteria decision making methods for selection of afforestation sites. *Rev. Int. Géomatique*, 24(2), 143-157. DOI:10.3166/RIG..1-15 2012 Lavoisier
- Gilliams, S., Raymaekers, D., Muys, B., & Van Orshoven, J. (2005). Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. *Computers and electronics in agriculture*, 49(1), 142-158. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.02.011>
- Gökhan, Ş. E. N., ve Güngör, E. (2018). Endüstriyel ağaçlandırmalar için en uygun tür seçiminde analitik hiyerarşi süreci yönteminin kullanılması: Kastamonu İli örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1), 63-75. <https://doi.org/10.18182/tjf.403922>
- Gülenç, İ. F.ve Bilgin, G. A. (2010). Yatırım kararları için bir model önerisi: AHP yöntemi-A model proposal for investment decisions: AHP method. *Öneri Dergisi*, 9(34), 97-107.
- Gürkaynak, M. (2014). Potansiyel ağaçlandırma sahalarının önceliklerinin belirlenmesinde CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri)'nin kullanılması [Kahta Devlet Orman İşletme Şefliği örneği] (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi. KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş).
- Kangas, J. (1993). A multi-attribute preference model for evaluating the reforestation chain alternatives of a forest stand. *Forest Ecology and Management*, 59(3-4), 271-288. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90007-A](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90007-A)
- Kaptan, S. (2018). Sosyo-ekonomik durum envanteri ve orman amenajman planlarına yansıtılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, 258 s., Bartın.
- Kassioumis, K., Papageorgiou, K., Christodoulou, A., Blioumis, V., Stamou, N., and Karameris, A. (2004). Rural development by afforestation in predominantly agricultural areas: issues and challenges from two areas in Greece. *Forest Policy and Economics*, 6(5), 483-496. [https://doi.org/10.1016/S1389-9341\(02\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S1389-9341(02)00079-5)
- Mayr, H. (1909). *Waldbau auf naturgesetzlicher Grundlage*. Verlag Paul Parey, Berlin, 568 S. (Doğa kanunlarına dayalı silvikültür. *Yayıncı Paul Parey*, Berlin, 568 s. <https://doi.org/10.1007/BF01859098>
- Muğla, M. K., ve Tarık, T. (2020). Potansiyel ağaçlandırma sahalarının analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(2), 103-120. <https://doi.org/10.9733/JGG.2020R0007.T>

- OGM (2021). Web sitesi. Ormancılık istatistikleri, <https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/> Sayfalar/Istatistikler.aspx Erişim tarihi: 09.05.2021.
- Özel, H. B., Karayılmazlar, S. ve Demirci, A. (2014). Bartın havzasında analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemiyle Akdeniz çam türleri (*Pinus brutia* Ten. vse *Pinus pinea* L.) kullanılarak yapılacak ağaçlandırma çalışmaları için yer seçimi. *Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu "Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre"*, 22(24), 104-110.
- Pereira, J. M., & Duckstein, L. (1993). A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *International journal of geographical Information science*, 7(5), 407-424. <https://doi.org/10.1080/02693799308901971>
- Saatçioğlu, F. (1976). Silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri. İÜ Orman Fakültesi Yayın, (222).
- Saaty T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory*. 2. Edition, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sabir, M., Ali, Y., Khan, I., and Salman, A. (2022). Plants species selection for afforestation: A case study of the Billion Tree Tsunami Project of Pakistan. *Journal of Sustainable Forestry*, 41(6), 537-549. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1830802>
- Store, R., & Kangas, J. (2001). Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and urban planning*, 55(2), 79-93. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00120-7)
- Swamy, L., Drazen, E., Johnson, W. R., and Bukoski, J. J. (2018). The future of tropical forests under the United Nations Sustainable Development Goals. *Journal of Sustainable Forestry*, 37(2), 221-256. <https://doi.org/10.1080/10549811.2017.1416477>
- Upton, V., O'Donoghue, C., and Ryan, M. (2014). The physical, economic and policy drivers of land conversion to forestry in Ireland. *Journal of Environmental Management*, 132, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.017>
- Yağcı, C., and İşcan, F. (2020). The application of GIS in the selection of suitable areas for afforestation of Konya. *Intercontinental Geoinformation Days*, 1, 204-207. <http://igd.mersin.edu.tr/2020/>
- Yılmaz, H., ve Surat, H. (2015). Analitik hiyerarşi süreci kullanılarak en uygun ekoturizm etkinliğinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 16(2), 164-176. <https://doi.org/10.18182/tjf.86170>
- Zomer, R. J., Trabucco, A., Bossio, D. A., and Verchot, L. V. (2008). Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, ecosystems & environment*, 126(1-2), 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.014>

The determination of total antioxidant activity, phenolic content and reducing power amounts of hazelnut (*Corylus avellana* L.) leaves grown in Giresun

Özlem AYDIN BERKTAŞ^{1,*}

¹Faculty of Healthy Science, Department of Nursing, Giresun University, 28100, Giresun-Turkey

Article History

Received: 03.03.2023

Accepted: 05.07.2023

Published: 15.08.2023

Research Article



Abstract – In the present study, total antioxidant activity (TAC), phenolic compound amounts (TPC) and reducing power (RP) of hazelnut leaves collected from Giresun were investigated. Antioxidant levels were determined in the water extracts of hazelnut leaves by using methods according to the appropriate literature. In the results obtained from water extracts at three different doses (1, 2.5 and 5 mg/kg), it was determined that the total antioxidant capacity was high depending on the dose and phenolic content. The high antioxidant capacity of hazelnuts produced in humid regions in our country also depends on the phenolic substance content it has.

Keywords – Hazelnut leaves, total antioxidant activity, reducing power, phenolic compound amounts

Giresun'da Yetiştirilen Fındık (*Corylus avellana* L.) Yapraklarında Toplam Antioksidan Aktivite, Fenolik Madde ve İndirgeyici Güç Miktarlarının Belirlenmesi

¹Giresun Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü 28100, Giresun-Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 03.03.2023

Kabul: 05.07.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi

Öz – Bu çalışmada, Giresun'dan toplanan fındık yapraklarının toplam antioksidan aktivitesi (TAC), fenolik bileşik miktarları (TPC) ve indirgeme gücü (RP) incelenmiştir. Fındık yapraklarının su ekstraktlarında antioksidan seviyeleri literatüre uygun yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Su ekstraktlarından üç farklı dozda (1, 2.5 ve 5 mg/kg) elde edilen sonuçlarda doza ve fenolik içeriğe bağlı olarak toplam antioksidan kapasitenin yüksek olduğu belirlenmiştir. Ülkemizde nemli bölgelerde üretilen fındığın antioksidan kapasitesinin yüksek olması sahip olduğu fenolik madde içeriğine de bağlıdır. Sonuçlardan da görülebileceği gibi fenolik içerik de doza bağlı olarak artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler – Fındık yaprağı, toplam antioksidan aktivite, indirgeme gücü, fenolik bileşik miktarları

¹  ozlem.berktas@giresun.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Introduction

Free radicals containing one or more unpaired electrons in their atomic or molecular structure are high-energy, unstable, short-lived and low-weight molecular compounds. Unpaired electrons in their structure cause the production of free radicals and damage cell membranes, lipids, proteins, nucleic acids and DNA. They form the basis of many diseases such as cancer, cardiovascular diseases, nervous system degenerative diseases and diabetes. To eliminate of these damages, antioxidant systems are used to inhibit reactive oxygen species caused by endogenous and exogenous sources. These system components prevent the progression of peroxidation (Odabasoglu et al., 2005, 2006).

The antioxidant molecules; it repairs damaged lipids, proteins and DNA molecules in the cell structure, neutralizes free radicals, suppresses reactions that produce free radicals, and increases the synthesis of other antioxidant enzymes. Therefore, a high antioxidant level in the organism is more advantageous. To maintain this advantage, organisms can choose to increase their own antioxidants or outsource their antioxidant needs (Yucel et al., 2007) The most remarkable parameters in the effective determination of antioxidant potential are the reducing power capacity and the amounts of phenolic compounds. The antioxidant activity in many plants varies depending on the phenolic substance it has (Lee, 2001).

The phenolic substances, which are included in secondary metabolites, are the main parameters in the investigation of antioxidant activity in many plants. Phenolic substances are found in various parts of plants and fulfill many physiological, biochemical and physiological functions. It plays a very important role in eliminating oxidative damage caused by reactive oxygen species, protecting against UV radiation, resisting pathogens, and wound healing by joining the cell wall structure (Miller & Ruiz-Larrea, 2002; Yao et al., 2004; Pereira et al., 2006; Shahidi et al., 2007). It has been determined that flavonoids, which constitute the majority of phenolic substances, are also the subject of research and have many biological activities (anti-allergic, anti-inflammatory, antiviral, anticarcinogenic, antithrombotic, antihepatotoxic). (Shi and Noguchi, 2001; Yao et al., 2004).

Corylus avellana L., native to Europe and Asia, constitutes 80% of the world crop. Although there are many species, *Corylus avellana* L. and its hybrids are characterized as deciduous, rounded, 6-12 cm long and diagonal, double-knurled trees or shrubs with soft hairs on both surfaces, which can grow up to 6 m in height (Oliveira et al., 2007; Masullo et al., 2015). It is known to have a wide geographical distribution in Europe. For economic reasons, its production is carried out in a controlled manner in temperate and humid winters. It is grown mostly in the Black Sea Region in our country and is one of the important resources with economic value for the public (Altunpala and Bozoğlu, 2018). Both the hazelnut itself and its leaf are seen as natural food product. (Amaral et al., 2005).

In the present study, it was aimed to determine the phenolic substance content of hazelnut, which is widely used among foods, and accordingly the amount of antioxidant capacity.

2. Material and Method

2.1 Chemicals

All chemicals used in the experiment were obtained from Sigma-Aldrich.

2.2 Collection of Leaf Samples and Preparation of Extracts

The hazelnut leaves used in the study were collected from hazelnut trees in Yağlıdere district of Giresun province in August 2021-2022. The collected leaves were dried by laying them in a dry and cool place. Dried hazelnut leaves were ground into powder after mixing with liquid nitrogen in a mortar. The system was created with using the soxhlet apparatus and 100 g of the leaves were extracted in a shaker water bath for four days.

Water (50 °C, 500 ml) was used as solvent. After filtering the extract, it was lyophilized and the water was evaporated. Antioxidant capacity, reducing power and phenolic compound amounts were determined from thoroughly dried leaf samples.

2.3 Determination of Antioxidant Activity

The thiocyanate technique was used to determine the antioxidant activity of extracts from hazelnuts, as described by Mitsuda et al. (1996). In a test tube, 1 mg of extract was dissolved in 1 ml of distilled water, 4 ml of phosphate buffer (0.2M, PH= 7.0) and 5 ml of linoleic acid solution were added and incubated at 37 °C. After incubation, 0.1 ml of the incubation mixture was vortexed and applied to solutions of 75 percent ethanol and 30 percent ammonium thiocyanate at 4-hour intervals. The mixture was treated with a 0.02 M solution of FeCl₂ in 35 percent HCl and absorbances were measured at 500 nm versus blank. Incubation was stopped when the control group reached its maximum absorbance (Mitsuda et al., 1996).

2.4 Determination of Total Phenolic Contents

The Folin-Ciocalteu solution was used as described in the protocol to measure the total amount of phenolic compounds (Slinkard & Singleton, 1977). In a test tube, 0.5 mg of lyophilisate was dissolved in 0.5 ml of distilled water, 2.5 ml of Folin-Coicalteu solution was added and incubated at 30 °C for 5 minutes. 2 ml of Na₂CO₃ was then added to the mixture and incubated for an additional 90 minutes at 30 °C. At the end of the period, absorbances were measured at 765 nm. Gallic acid equivalents (GAE) per gram of lyophilisates were calculated.

2.5 Determination of Reduction Force

The reducing forces of the leaf samples were calculated using a technique developed by Yen and Chen (1995) (Yen and Chen, 1995). 0.5 mg of extract was dissolved in 0.5 ml of distilled water, 2.5 ml of phosphate buffer (0.2 M, pH 6.6) and 2.5 ml of 1% potassium ferricyanide solution were added into the test tube and incubated at 50 °C for 30 minutes. Next, 2.5 mL of 10% TCA solution was added and centrifuged at 3000 rpm for 10 minutes. After removing 2.5 ml of supernatant from the mixture and adding 2.5 ml of 0.1 percent FeCl₃ and 2.5 ml of distilled water, absorbance at 700 nm was measured. A high absorbance reading indicates high reducing power.

2.6 Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using the appropriate SPSS program. Statistical differences and significance levels were determined by ANOVA test, and results at the p<0.05 level were considered significant.

3. Results and Discussion

Plants are the main source of natural antioxidant compounds. Because of this, herbs are known as super antioxidants. One of the most important parameters in determining the antioxidant potential is the amount of phenolic compounds. Phenolics found in various parts of plants are polyphenolic components. The most widely available plant phenolics are flavonoids, particularly cinnamic acid derivatives, coumarins, tocopherols, and phenolic acids. There is a good correlation between antioxidant capacity and these compounds (Harborne and Williams, 2000; Silva et al., 2000; Merken et al., 2001).

Hazelnut plant (*Corylus avellana L.*), belonging to the Betulaceae family, is a tree native to Europe and Asia. It grows in temperate climates such as Turkey, Spain and Italy (Bottone et al. 2019). Although Turkey and Italy are the main producing countries for hazelnut cultivation (80% of the world crop), it has also spread to the southern hemisphere in recent years (Alaşalvar et al., 2006). It is the most important species in terms of

hazelnut production as deciduous, round, 6-12 cm long and cross, soft hairy and double-toothed trees or shrubs that can grow up to 6 m in height (Oliveira et al., 2007; Masullo et al., 2015). Hazelnut is mostly grown in the Black Sea Region in Turkey and is one of the important resources with economic value for the public (Altunpala & Bozoğlu, 2018). Hazelnuts are grown and processed in this region and offered to domestic and international markets. Hazelnut tree leaf, which is a by-product of hazelnut harvest, is also seen as a potential natural food source today (Amaral et al., 2005).

The damage caused by reactive oxygen species is kept under control by the existing antioxidant systems in the organism. However, in pathological conditions, the oxidant and antioxidant balance changes. Studies have shown that certain phenolic antioxidants prevent cell death caused by oxidative stress (Youim ve Joseph, 2001; Parihar ve Hemnani, 2003). In our current research; the results of activity analyzes of hazelnut leaf water extracts after 60 hours of incubation with linoleic acid emulsion are summarized in Table 1 as inhibition (%). Trolox and ascorbic acid were used as positive controls for hydrophilic antioxidants. Compared to the control, it was found that the three different doses of hazelnut leaf extract prevented the formation of peroxide the rates of 41.6%, 57.2%, 61.1%, while the positive controls ascorbic acid and trolox prevented the formation of peroxide at a rate of 49.4% and 78.2% ($p < 0.05$).

Table 1

The comparison of antioxidant activity (TAA), reducing power (IG) and total phenol compounds (TFB) amount of hazelnut leaf water extract

Samples	Dose (mg/ml)	Total antioxidant activity		Reducing power	Phenolic compound amount
		Mean Absorbance (60. hour, 500 nm)	Inhibition %	Mean Absorbance (700nm)	(mgGAE/glyophilisate)
Giresun hazelnut leaf water extract	1	1.50±0.06e	41.6	0.15±0.01a	0.90±0.02a
	2.5	1.10±0.001c	57.2	0.26±0.02b	1.25±0.01b
	5	1.00±0.01b	61.1	0.31±0.01c	1.58±0.02c
Ascorbic acid	1	1.30±0.001d	49.4	-	-
Trolox	1	0.56±0.02a	78.2	-	-
Control	-	2.57±0.04f	-	-	-

The values are presented as mean ± SD. Significant at $p < 0.05$. Values with the same letter are not different according to Duncan test for statistical purposes.

As can be seen in Table 1 and Figure 1 phenolic content was determined as 0.90±0.02a, 1.25±0.01b and 1.58±0.02c, respectively, depending on the doses. The phenol content also increases in direct proportion to the total antioxidant capacity.

The antioxidant effects of plant phenolics are mainly due to their redox properties. Therefore, they act as reducing agents, hydrogen donors, singlet oxygen inhibitors and metal chelators (Packer et al., 1999; Summanen et al., 2001). Reducing power is defined as the ability to donate electrons or donate electrons to free radicals and is considered another important parameter for a molecule an antioxidant effect. Plants with high antioxidant activity are expected to have higher reducing power capabilities. In our research, the data obtained in accordance with the literature show parallelism. The reducing powers were 0.15±0.01a, 0.26±0.02b, and 0.31±0.01c, depending on the dose, respectively.

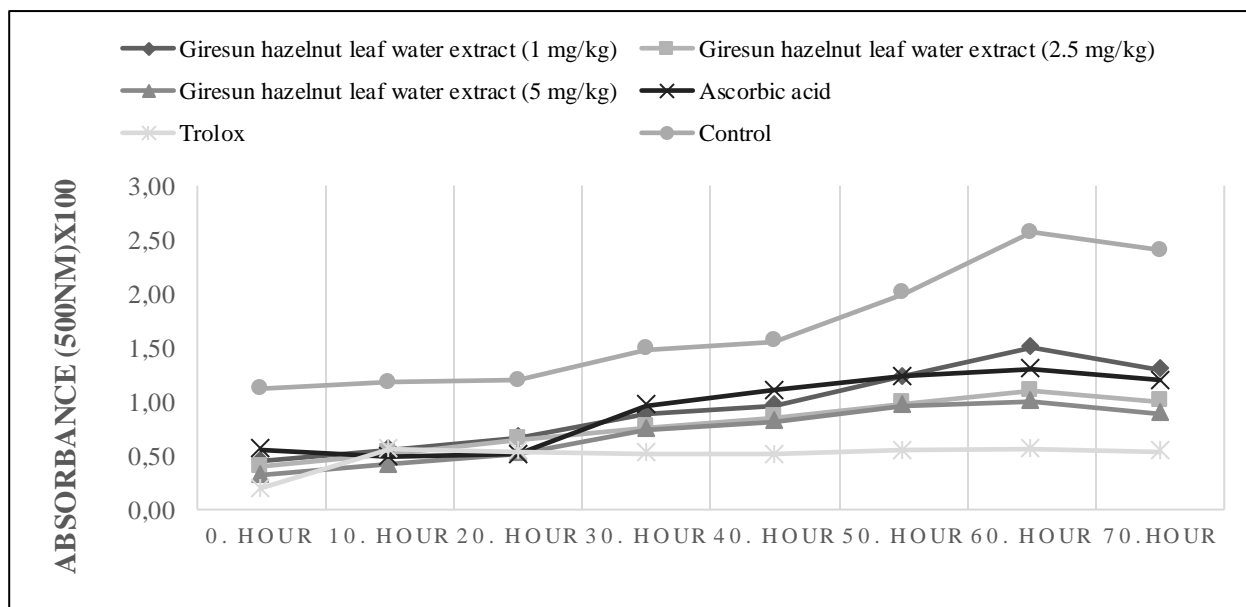


Figure 1. The comparison of antioxidant activity (TAA), reducing power (IG) and total phenol compounds (TFB) amount of hazelnut leaf water extract

The polyacetyls, phenolic acids, flavonoids, coumarins and terpenes, which are active components in plants, are reported as powerful antioxidants. The different phytochemicals available greatly affect the biological activities of plants. In line with all these data, we can say that hazelnut leaf has high antioxidant activity like many other plants and this is due to flavonoids. We believe that it will pave the way for the continuity of some biological studies.

4. Conclusion and Recommendations

In line with the results obtained from the present study, it is observed that the leaves of *C. avellana* are a significant source of antioxidants and phenolics. In addition, hazelnut extracts can be a guide for detailed pharmacological studies in terms of developing new natural antioxidant products for the treatment of various oxidative stress-related diseases. Examination of plants with high antioxidant content can be a new gain in alternative treatment.

Conflict of Interest

The authors declared no conflict of interest.

References

- Alasalvar, C., Shahidi, F. (2009). Natural antioxidants in tree nuts. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(11): 1056-1062. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900098>.
- Altunpala, B., Bozoğlu, M. (2018). Fındık İşletmelerinin Destekleme Düzeyine Bağlı Yetiştirme İstekliliği. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 21(1): 161-167. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.472179>.
- Amaral, J. S., Ferreres, F., Andrade, P. B., Valentão, P., Pinheiro, C., Santos, A., and Seabra, R. (2005). Phenolic profile of hazelnut (*Corylus avellana* L.) leaves cultivars grown in Portugal. *Natural Product Research*, 19(2): 157-163. <https://doi.org/10.1080/14786410410001704778>.
- Bottone, A., Cerulli, A., D'Urso, G., Masullo, M., Montoro, P., Napolitano, A., & Piacente, S. (2019). Plant specialized metabolites in hazelnut (*Corylus avellana*) kernel and byproducts: an update on chemistry, biological activity, and analytical aspects. *Planta Medica*, 85(11/12): 840-855. <https://doi.org/10.1055/a-0947-5725>.
- Harborne, J.B., and Williams, C.A., (2000). Advances in Flavonoid Research Since 1992. *Phytochem*, 55: 481.

- Lee, K., and Shibamoto, T., (2001). Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds [*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. et Perry]. *Food Chem*, 74(4): 443-448.
- Masullo, M., Cerulli, A., Olas, B., Pizza, C., & Piacente, S. (2015). Giffonins A–I, antioxidant cyclized diarylheptanoids from the leaves of the hazelnut tree (*Corylus avellana*), source of the Italian PGI Product “Nocciola di Giffoni”. *Journal of Natural Products*, 78(1): 17-25. <https://doi.org/10.1021/np5004966>.
- Merken, H.M., Merken, C.D., Beecher, G.R., (2001). Kinetics Method for the Quantitation of Anthocyanins, Flavonal and Flavones in Food. *J. Agric. Food Chem*, 49: 2727-2732.
- Miller, N. J., & Ruiz-Larrea, M. B. (2002). Flavonoids and other plant phenols in the diet: Their significance as antioxidants. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*, 12 (1): 39-51. <https://doi.org/10.1080/13590840220123352>.
- Mitsuda, H., Yasumoto, K., & Iwami, K., (1996). Antioxidative action of indole compounds during the autoxidation of linoleic acid. *Eiyo to Shokuryo*, 19, 210-214.
- Odabasoglu, F., Aslan, A., Cakir, A., Suleyman, H., Karagoz, Y., Bayir, Y., & Halici, M., (2005). Antioxidant activity, reducing power and total phenolic content of some lichen species. *Fitoterapia*, 76 (2): 216-219.
- Odabasoglu, F., Cakir, A., Suleyman, H., Aslan, A., Bayir, Y., Halici, M., Kazaz, C., (2006). Gastroprotective and antioxidant effects of usnic acid on indomethacine-induced gastric ulcer in rats. *J Ethnopharmacol*, 103(1): 59-65.
- Oliveira, I., Sousa, A., Valentão, P., Andrade, P. B., Ferreira, I. C., Ferreres, F., & Pereira, J.A., (2007). Hazel (*Corylus avellana* L.) leaves as source of antimicrobial and antioxidative compounds. *Food Chemistry*, 105(3): 1018-1025. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.059>.
- Packer, L., Hiramatsu, M., & Toshikawa, T., (1999). Antioxidant Food Supplements in Human Health. Academic Press., San Diego.
- Parihar, M.S., & Hemnani, T., (2003). Phenolic Antioxidants Attenuate Hippocampal Neuronal Cell Damage Against Kainic acid Induced Excitotoxicity. *J Biosci*, 28:121-128.
- Pereira, J. A., Pereira, A. P., Ferreira, I. C., Valentão, P., Andrade, P. B., Seabra, R., & Bento, A. (2006). Table olives from Portugal: phenolic compounds, antioxidant potential, and antimicrobial activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(22): 8425-8431. <https://doi.org/10.1021/jf061769j>.
- Shahidi, F., Alasalvar, C., & Liyana-Pathirana, C.M., (2007). Antioxidant phytochemicals in hazelnut kernel (*Corylus avellana* L.) and hazelnut byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4): 1212-1220. <https://doi.org/10.1021/jf062472>.
- Shi, H., Noguchi, N., & Niki, E. (2001). Introducing natural Antioxidants. Antioxidants in food: practical applications, 147-158.
- Silva, F.A.M., Borges, F., Guimaraes, C., Lima, J.L.F.C., Matos, C., Reis, S., (2000). Phenolic Acids and Derivatives; Studies on the Relationship among Structure, Radical Scavenging Activity and Physicochemical Parameters. *J Agric Food Chem*, 48: 2122-2126.
- Slinkard, K., & Singleton, V.L., (1977). Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1).
- Summanen, J., Vuorela, P., Marjamaki, K., Pasternack, M., Törnquist, K., Vuorela, H., (2001). Effect of Simple Aromatic Compounds and Flavonoids on Ca²⁺ Fluxes in Rat Pituitary GH4C1 Cells. *Eur J Pharmacol*, 414: 125-133.
- Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomas-Barberan, F. A., Datta, N., Singanusong, R., & Chen, S. S., (2004). Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(3): 113-122. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0049-7>
- Yen, G. C., & Chen, H. Y., (1995). Antioxidant Activity of Various Tea Extracts in Relation to Their Antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(1): 27–32
- Youim, K.A., Joseph, J.A., (2001). A Possible Emerging Role of Phytochemicals in Improving Age-related Neurological Dysfunction a Multiplicity of Effects. *Free Radic Biol Med*, 30: 583-594.
- Yucel, O., Odabasoglu, F., Gulluce, M., Calik, Z.Z., Cakir, A., Aslan, A., Yazici, K., Halici, M., (2007). Antioxidant and antimicrobial properties of a lichen species, *Cladonia rangiformis* growing in Turkey. *Turkish J Pharmac Sci*, 4(2): 101-109.

Physical and Mechanical Properties of Paper Packaging in the Food Industry

Mehmet Onurhan GÜCÜŞ^{1,*}

Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 7100 Karaman-Turkey

Article History

Received: 09.05.2023

Accepted: 09.08.2023

Published: 15.08.2023

Research Article



Abstract – Consumers are constantly concerned about the safety of foods containing synthetic preservatives as well as the increasing number of diseases caused by pathogenic and spoilage microorganisms in food nowadays. The hydrophilicity and porous nature of the paper can easily cause the adsorption of water from the environment or food and become a suitable medium for the growth of microorganisms. The main problem with food wrapping paper and cardboard is that their basic properties are not fully understood. Packaging materials that come into contact with food, whose basic properties are determined by paper and cardboard tests, can be used appropriately instead of end-use. Hence, by reducing the risk of pathogens, it can contribute to the existing studies that are researched to prevent the proliferation of microorganisms. These preliminary tests are critical for active packaging, where antimicrobial agents are incorporated into the packaging material, which forms a protective layer through the vapor phase or direct contact with food. Thus, the main resource will be provided for antimicrobial packaging coated with essential oils, antimicrobial packaging with enzymes, antimicrobial packaging with bacteriocin, and antimicrobial packaging with inorganic materials. In this study, basic tests on three food contact paper samples were performed, and the results were compared. According to these results, better burst resistance and tensile strength results are seen in cardboard packaging. On the contrary, index values decreased when compared to the other paper samples. In the water resistance test, the best results were obtained on wrapping papers. Sulphite paper was the paper type with the none of highest resistance, according to the test results. In this rapidly developing technology, it is foreseen that naturally produced or naturally produced biopolymers will not play an important role in reducing environmental waste by combining them with packaging.

Keyword – Paper packaging, base paper, food contact paper packaging

Gıda Endüstrisinde Kâğıt Ambalajların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 7100 Karaman-Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 09.05.2023


Kabul: 09.08.2023

Yayın: 15.08.2023

Araştırma Makalesi

Öz– Günümüzde tüketiciler, gıdalardaki patojenik ve bozulmaya neden olan mikroorganizmaların neden olduğu artan sayıdaki hastalıkların yanı sıra sentetik koruyucular içeren gıdaların güvenliği konusunda sürekli endişe duymaktadır. Kâğıdın hidrofilitesi ve gözenekli yapısı kolayca ortamdan veya yiyeceklerden suyun adsorpsiyonuna neden olabilir ve mikroorganizmaların büyümesi için uygun bir ortam haline gelebilir. Gıda ambalaj kâğıdı ve kartondaki ana sorun temel özelliklerinin tam anlaşılabilmesidir. Kâğıt ve karton testleri ile temel özellikleri belirlenen gıdayla temas eden ambalaj malzemeleri son kullanım yerine uygun kullanım olanağı kazanabilmektedir. Bu sayede patojen riskini azaltarak mikroorganizmaların çoğalmasını önlemek için araştırılan mevcut çalışmalara katkıda bulunulabilir. Buhar fazı veya gıda ile doğrudan temas yoluyla koruyucu bir tabaka oluşturan ambalaj malzemesine antimikrobiyal ajanların dâhil edildiği aktif ambalajlama için bu ön testler kritik öneme sahiptir. Böylece uçucu yağlarla kaplı antimikrobiyal ambalajlar, enzimli antimikrobiyal ambalajlar, bakteriyosinli antimikrobiyal ambalajlar ve inorganik malzemelerle antimikrobiyal ambalajlar için ana kaynak sağlanmış olacaktır. Bu çalışmada gıdayla temas eden 3 farklı kâğıt örneğinin temel testleri yapılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre, en iyi patlama direnci, çekme direnci sonuçları karton ambalajda görülmektedir. Ancak diğer kâğıt örnekleri ile karşılaştırıldığında indis değerleri daha düşüktür. Suya dayanıklılık testinde en iyi sonuçlar karton ambalajda görülmektedir. Sülfite kâğıdı diğerleri ile kıyaslandığında, en yüksek mukavemete sahip olmayan tek kâğıt türüdür. Hızla gelişen bu teknolojiye, doğal olarak biyopolimer olan veya doğal olarak üretilen biyopolimerlerin ambalaj ile bir araya getirilerek çevresel atıkların azaltılmasında önemli bir rol oynayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler – Kâğıt ambalaj, baz kâğıt, gıdaya temas eden kâğıt ambalaj.

¹  onurgucus@kmu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Introduction

Paper packaging technology has been rapidly developing in recent years, especially in the food industry. Compared to plastic, glass, and metal packaging, paper and cardboard materials stand out with their advantages as disposable materials. It is also an important criterion that the recycling process be less harmful to the environment. Wrapping papers and multi-layered cardboards are preferred, especially in fast food type foods where fast consumption is intense, such as bread and delicatessen products, in terms of ease of use, economy, and cost-effective printing with the surface coating process. One of the reasons why paper and cardboard are generally preferred in food packaging is the risk of pathogens that pose a potential danger to consumers (Sood vd. 2019; Suominen, Suihko, ve Salkinoja-Salonen 1997; Tanner, Wheaton, ve Ball 2011). Besides, consuming paper material in food packaging can inhibit spoilage and the growth of pathogenic microorganisms and contribute to improving food safety and extending the shelf life of packaged food, in addition to other barrier properties. Studies in this issue focus on suppression of pathogenic microorganisms, prolonging shelf life, protecting against loss of aroma and taste, and food safety (Bennett 1988; Hladíková vd. 2015; Sohel Rana vd. 2019). Due to the limit values for packages that come into contact with food and the regulations on active and smart packages that are likely to come into contact with nutrients. According to the European Union's Framework Regulation (EC) No. 1935/2004, there should be no transfer of contamination from food packaging materials to foodstuffs (Sood vd. 2019). More clearly, ingredients should not be transferred from food packaging materials to food in a way that would affect human health, cause an unacceptable change in the food product, or impair taste and odour (Sood vd. 2019). Antimicrobial paper packaging systems are convenient packaging material alternative as they are biodegradable and are safer than commonly used plastic packaging materials in this manner (Zaidi vd. 2022). Hence, the food industry is making great efforts to adapt to the technological market in terms of paper packaging material. With the globalization of the food trade, the need to protect the quality, freshness and safety of 'fresh' food products that are minimally processed, easily prepared and ready to eat has emerged. New technologies need to be developed to extend the shelf life of food products (Ahari ve Soufiani 2021; Dobre, Gagiú, ve Petru 2011; He vd. 2021; Nechita 2017; Shankar, Bang, ve Rhim 2019). With the increasing demand of consumers for fresh, convenient and safe food products, the need for storage of food contact products in reasonable periods creates the need for a wide working area for active and smart packaging.

Active packaging can be defined as a form of packaging in which the package, product, and environment interact to extend the shelf life of the product, improve safety, or improve sensory properties while maintaining the quality of the product. Among the various types of active packaging available, antimicrobial packaging is of paramount importance (Karam vd. 2013). These techniques are designed to prevent microorganism growth by preventing food spoilage and reducing the risk of pathogens. These include active packaging, in which antimicrobial agents are incorporated into the packaging material, which forms a protective layer through the vapor phase or direct contact with food (Karam vd. 2013). The basic principle of antimicrobial packaging is based on a kind of barrier technology. This Hurdle Technology; water activity, pH, redox potential, heat treatment, etc. By allowing the use of barriers, a combination of two or more such barriers achieves the optimum level of maximum lethality for microorganisms while minimizing damage to the nutritional and sensory properties of the food (Sofi vd. 2018). Commercially available biopolymers in packaging have been used primarily for fruits and vegetables due to their short shelf life, and relatively few studies have shown their use for fresh meat or fish products (Irkin ve Esmer 2015; Yasar vd. 2022). They found that the antimicrobial properties of the papers increased when they were coated with *Origanum majorana* L. essential oil (Yasar vd. 2022). It has been determined that the shelf life of the products is extended up to the 6th day in the papers that are packaged in minced meat and stored at +4 degrees cold (Yasar vd. 2022).

Paper is a natural carbohydrate polymer composed mainly of cellulosic materials. Structurally, it is porous, light, and provides sufficient physical strength properties. Thanks to this structure, the coating material can be applied easily and dries quickly on the surface. The porosity and hydrophilicity of the paper can easily cause the adsorption of water from the environment or food, so the paper may lose its physical and mechanical strength and become a suitable medium for the growth of microorganisms (El-Wakil vd. 2015). However, the advantages of paper materials, such as being recyclable and cost-effective, have been the driving force behind the development of new strategies to increase the oil and water resistance of paper (Gadhav v. 2022). Appropriate coating of the paper surface for packaging that comes into contact with food is important to support antimicrobial properties. Various studies have been carried out to impart antimicrobial properties

to surfaces where nutrients come into contact with the paper surface. Since paper has a hygroscopic structure, it is weak against water vapor, gases, and oils. PVA, latex, etc., are often used to improve the barrier properties of paper and cardboard. Besides synthetic polymers, researchers focus on biobased materials such as chitosan, polylactic acid, natural wax-based materials, and protein-based materials (for example, whey protein and casein) and try to impart certain properties to paper, such as liquid repellency or a high oxygen or water vapor barrier (Gadhavé vd. 2022). In addition, as health and environmental concerns regarding beeswax, fluorochemicals, and extrusion-based paper coatings increase, so does interest in bioabsorbable and repulpable substitutes for producing water and oil repellent coatings (Gadhavé v. 2022). Such substances fill the gaps in the paper and provide the density of the cardboard materials. In recent years, surfaces have been developed using environmentally friendly, renewable, and biodegradable materials instead of synthetic materials (Aloui vd. 2011).

More studies are needed in the literature for antimicrobial technologies in paper and cardboard packaging. In this respect, it is critical to determine the basic properties of papers that come into contact with food or that will be used in the food industry. In a recent study, the basic properties of three types of paper used commercially in the paper packaging industry were compared by means of their physical properties.

2. Material and Method

Three different paper types have been selected within the scope of in this study. Papers were obtained as free samples from companies used in the food industry commercially. These three types of paper are wrapping paper, Sulphite paper, and cardboard. Physical resistance tests of paper samples were carried out in a laboratory environment at 50 ± 2 % relative humidity and $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$ temperature, in a conditioning room according to TS 636 EN 20187 standard.

The ISO 536 standard was used to determine the weight of the papers, and the ISO 1974:2012 method was used to determine the tear resistance. As the tensile strength is specified in the ISO 1924-2 standard and the burst resistance values of the paper are specified in the ISO 2758 standard, the methods specified in the standard were used with the help of the Zwick/Roell test device. The Cobb30 test was applied for the water absorption resistance values of the papers, and these values were found in accordance with the methods specified in the ISO 535 standard. Paper samples were kept in the climatic chamber for 24 hours in accordance with ISO 187 before the Cobb30 test was performed. Each of the paper tests was conducted on 10 different papers.

3. Results and Discussion

The weights of cardboard, wrapping paper, and sulfite paper samples were found to be 110.13, 52.96, and 57.23, respectively. Tear test results are given in Table 1. The index values were compared in the results. In this way, paper resistances could be compared regardless of weight differences.

Table 1
Tearing Index of Papers ($\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$) Comparison

Paper Types	Machine Direction	Cross Direction
Cardboard	422	343
Wrapping paper	108	105
Sulphite	104	86

As can be seen from the tear index results in Table 1, it is understood that there is no fiber orientation in the wrapping paper. Tear index values in cardboard material are higher than others. The multi-layered structure of snow-ton also has an effect on this. The tear index value in both directions is higher in wrapping papers compared to sulfide paper. The high degree of tattooing in the wrapping papers is effective in producing these results.

Table 2
Burst Resistance and Indices Comparison of Papers

Paper Types	Burst Strength (kPa)	ss	Var.	Burst Index (kPa *m ² /g)	ss	Var.
Cardboard	471	29	5.5	1.7	0.11	1.2
Wrapping paper	73	7.7	4.9	1.5	0.15	1.0
Sulphite	195	18	4.2	3.9	0.36	1.1

According to the burst index results in Table 2, the high index value in the wrapping papers and the high beating degree for thin papers are effective in these results. Although the burst resistance is high in cardboard material, when the index values associated with the weight values are examined, it is seen that the burst index is lower.

Table 3
Comparison of Tensile Index, Elongation, Break Length and Modulus of Elasticity of Papers

Paper Types	Statistics	Modulus of Elasticity ^x (Gpa)	Breaking Length M.D.(km)	Breaking Length C.D.(km)	F.MAX M.D.(km) (kN/m)	F.MAX C.D.(km) (kN/m)	Elongation M.D.(%)	Elongation C.D.(%)	Tensile Index M.D.(N.m/g)	Tensile Index C.D.(N.m/g)
Cardboard	Average	2.6	6.9	5.3	2.7	4.1	2.0	3.7	52.3	26.6
	S.S.	0.1	0.16	0.04	0.05	0.05	0.08	1.89	1.6	0.4
	Var.	1.42	3.03	1.24	1.75	1.24	3.97	1.75	3.0	1.8
Wrapping paper	Average	5.9	1.5	1.2	2.5	2.5	4.5	4.1	78.5	79.4
	S.S.	1.6	2.9	0.02	0.07	0.07	0.10	0.79	5.1	1.02
	Var.	1.7	2.59	1.77	2.59	2.59	7.96	4.45	4.7	3.7
Sulphite	Average	3.6	3.8	2.0	1.8	1.1	1.0	1.2	37.0	20.3
	S.S.	1.44	0.21	0.11	0.10	0.05	0.06	0.14	2.0	1.1
	Var.	9.46	5.37	5.42	5.37	5.42	6.24	1.23	5.3	5.4

According to the tensile index results in Table 3, the high index value in wrapping papers and the high degree of beating degree for thin papers are effective. In the cardboard material, when the index values are examined, it is seen that the results are lower. However, the breaking length is higher compared to the others. This ensures that the cardboard material is suitable for use as a carrier.

Table 4
Comparison of Cobb₃₀ (g/m²) Values of Papers

Paper Types	Cobb ₃₀
Cardboard	28
Wrapping paper	33

According to the Cobb₃₀ results in Table 4, water resistance could not be measured in the sulfide paper. The fact that sulphite paper does not provide structural water resistance and that paper size is not used is effective in these results. The high water resistance value in wrapping papers is due to the degree of beating in the papermaking process. In cardboard material, the use of internal sizing and surface sizing materials provides resistance against water.

4. Conclusion

Antimicrobial packaging is a rapidly developing technology. With increasing consumer demand for fresh, convenient, and safe food products, the need for versatile food packaging for transport and storage offers a bright future for antimicrobial packaging. Antimicrobial packaging systems can inhibit spoilage and the growth of pathogenic microorganisms and contribute to improving food safety and extending the shelf life of packaged food, in addition to other barrier properties. In this rapidly developing technology, it is foreseen that biopolymers that are naturally biopolymers or produced naturally will not play a major role in reducing environmental waste by combining them with packaging, and they are expected to be accepted more quickly from the point of view of the consumer, unlike unnatural ones. However, more studies are needed in the literature for antimicrobial technologies in paper and cardboard packaging. In this direction, it is critical to determine the basic properties of papers that come into contact with food or that will be used in the food industry.

Çıkar Çatışması

Yazar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemiştir.

References

- Ahari, H., & Soufiani, S. P. (2021). Smart and active food packaging: Insights in novel food packaging. *Frontiers in Microbiology*, 12, 657233. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.657233>
- Aloui, H., Khwaldia, K., Slama, M. B., & Hamdi, M. (2011). Effect of glycerol and coating weight on functional properties of biopolymer-coated paper. *Carbohydrate polymers*, 86(2), 1063-1072. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.026>
- Bennett, C. (1988). The control of microbiological problems in the paper industry. *International biodeterioration*, 24(4-5), 381-386. [https://doi.org/10.1016/0265-3036\(88\)90024-3](https://doi.org/10.1016/0265-3036(88)90024-3)
- Dobre, A. A., Gagi, V., & Petru, N. (2011). Antimicrobial activity of essential oils against food-borne bacteria evaluated by two preliminary methods. *Romanian Biotechnological Letters*, 16(6), 119-125.
- El-Wakil, N. A., Hassan, E. A., Abou-Zeid, R. E., & Dufresne, A. (2015). Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. *Carbohydrate polymers*, 124, 337-346. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.076>
- Gadhawe, R. V., Gadhawe, C. R., & Dhawale, P. V. (2022). Plastic-Free Bioactive Paper Coatings, Way to Next-Generation Sustainable Paper Packaging Application: A Review. *Green and Sustainable Chemistry*, 12(2), 9-27. <https://doi.org/10.4236/gsc.2022.122002>
- He, Y., Li, H., Fei, X., & Peng, L. (2021). Carboxymethyl cellulose/cellulose nanocrystals immobilized silver nanoparticles as an effective coating to improve barrier and antibacterial properties of paper for food packaging applications. *Carbohydrate polymers*, 252, 117156. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117156>
- Hladíková, Z., Kejlova, K., Sosnovcova, J., Jirova, D., Vavrouš, A., Janoušek, A., Syčová M. & Špelina, V. (2015). Microbial contamination of paper-based food contact materials with different contents of recycled fiber. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(4), 308-312. <https://doi.org/10.17221/645/2014-CJFS>
- Irkin, R., & Esmer, O. K. (2015). Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents. *Journal of food science and technology*, 52, 6095-6111. <https://doi.org/10.1007/S13197-015-1780-9>
- Karam, L., Jama, C., Dhulster, P., & Chihib, N. E. (2013). Study of surface interactions between peptides, materials and bacteria for setting up antimicrobial surfaces and active food packaging. *J. Mater. Environ. Sci*, 4(5), 798-821.
- Nechita, P. (2017). Active-antimicrobial coatings based on silver nanoparticles and natural polymers for paper packaging functionalization. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 32(3), 452-458. <https://doi.org/10.3183/npprj-2017-32-03-p452-458>

- Rana, M., Mahmud, S., Hossain, M., Rana, M., Kabir, E., Das, A. K., & Roy, R. K. (2019). Bacteriological load in traditional food packaging paper. *Journal of Advances in Microbiology*, 15(2), 1-9. <https://doi.org/10.9734/JAMB/2019/V15I230085>
- Shankar, S., Bang, Y. J., & Rhim, J. W. (2019). Antibacterial LDPE/GSE/Mel/ZnONP composite film-coated wrapping paper for convenience food packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100421. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100421>
- Sofi, S. A., Singh, J., Rafiq, S., Ashraf, U., Dar, B. N., & Nayik, G. A. (2018). A comprehensive review on antimicrobial packaging and its use in food packaging. *Current Nutrition & Food Science*, 14(4), 305-312. <https://doi.org/10.2174/1573401313666170609095732>
- Sood, S., & Sharma, C. (2019). Bacteria in Indian food packaging papers and paperboards with various contents of pulp fiber. *Food and Nutrition Sciences*, 10(04), 349. <https://doi.org/10.4236/FNS.2019.104027>
- Suominen, I., Suihko, M. L., & Salkinoja-Salonen, M. (1997). Microscopic study of migration of microbes in food-packaging paper and board. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 19, 104-113. <https://academic.oup.com/jimb/article/19/2/104/5991526>
- Tanner, F. W., Wheaton, E., & Ball, C. O. (1940). Microbiology of paper and paper-board for use in the food industry. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 30(3), 256-266. <https://doi.org/10.2105/AJPH.30.3.256>
- Yasar, S., Nizamlioglu, N. M., Gücüş, M. O., Bildik Dal, A. E., & Akgül, K. (2022). Origanum majorana L. essential oil-coated paper acts as an antimicrobial and antioxidant agent against meat spoilage. *ACS omega*, 7(10), 9033-9043. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00237>
- Zaidi, S., Vats, M., Kumar, N., Janbade, A., & Gupta, M. K. (2022). Evaluation of food packaging paper for microbial load and storage effect on the microbial activity of paper. *Packaging Technology and Science*, 35(7), 569-577. <https://doi.org/10.1002/pts.2652>

Reçine Üretimine Genel Bir Bakış ve Covid-19' un Üretim Üzerine Etkisi

Avni Yıldızbaş^{1,*}, Abdullah İstek¹, Cennet Burcu SIRADAĞ^{1,2}

¹ Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

² Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bartın, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 12.12.2022

Kabul: 04.06.2023

Yayın: 15.08.2023

Derleme Makale



Öz – Dikili ağaçlardan çeşitli yaralama yöntemleriyle üretilen reçine, opak süt beyazı renkte, yoğun, yapışkan ve akışkan özellik gösteren bir üründür. Reçine literatürde rosin, resin ve oleoresin olarak üç farklı terimle ifade edilmektedir. Dünyada yaklaşık 100 çam türünden geleneksel olarak Çin yöntemi, Amerikan yöntemi, Hugues ya da Fransız yöntemi ve Mazek ya da Rill yöntemleriyle reçine üretimi yapılmaktadır. Ayrıca oyma delik veya Eurogem olarak isimlendirilen kapalı yara yöntemi de kullanılmaktadır. Dünya üzerinde iğne yapraklı ağaçlar dışında reçine üretimi yapılan diğer bazı önemli odun ve odun dışı bitkiler arasında *Cistus ladanifer*, *Styrax officinalis*, *Ferula assa-foetida*, *Myroxylon balsamum*, *Boswellia serrata*, *Pistacia atlantica* vd. türler yer almaktadır. Günümüzde Çin, Brezilya ve Endonezya dünyada dikili çam reçinesi üretiminin %90'ından fazlasını gerçekleştirmektedir. Reçine üretiminin % 68'inin oleoresin, %31'inin sülfat reçinesi ve diğer kısmının ise ekstraksiyon reçinesi olduğu tahmin edilmektedir. 2019 yılında 1.270,000 ton olan kolofan üretimi covid-19 etkisiyle 2020 yılında %9,45 oranında azalarak 1.150,000 tona düşmüştür. Benzer şekilde 2019 yılında dünyada toplam terebentin üretimi 345,000 ton olarak gerçekleşirken bu rakam 2020 yılında 325,000 tona gerilemiştir. Reçine ve kolofan gibi türevleri mikrokapsülasyon, fungusit, herbisit, ahşap koruma, kâğıt endüstrisi, biyoyakıt, nanomateryal, yeşil kimyasallar vb. alanlarda kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Oleoresin, resin, kolofan, terebentin, covid-19

An Overview of Resin Production and the Effect of Covid-19 on Production

¹ Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Bartın University, Bartın, Turkey

² Bartın University, Graduate School of Education, Department of Forest Industrial Engineering, Bartın, Türkiye

Article History

Received: 12.12.2022


Accepted: 04.06.2023


Published: 15.08.2023


Review Article

Abstract – The resin obtained from planted trees by various tapping methods is an opaque, milky white, dense product with sticky and liquid properties. In the literature, there are three different terms such as rosin, resin, and oleoresin that refer to resin. Traditionally, the resin is produced from about 100 species of pine trees in the world using the Chinese method, the American method, the Hugues or French method, and the Mazek or Rill method. In addition, the closed-blaze method called borehole or Eurogem is also used. *Cistus ladanifer*, *Styrax officinalis*, *Ferula assa-foetida*, *Myroxylon balsamum*, *Boswellia serrata*, *Pistacia atlantica*, etc. are among some other important wood and non-wood plants that produce resin besides conifers in the world. Today, China, Brazil, and Indonesia realize more than 90% of the planted pine resin production in the world. It is estimated that 68% of the resin production is oleoresin, 31% sulfate resin, and the other part is extractive resin. Colophony production, which was 1,270,000 tonnes in 2019, decreased by 9.45% to 1,150,000 tonnes in 2020 due to Covid-19. Also, while the total world turpentine production in 2019 was 345,000 tons, in 2020 this figure dropped to 325,000 tons. Resin and its derivatives such as rosin are used in microencapsulation, fungicide, herbicide, wood protection, the paper industry, biofuel, nanomaterial, green chemicals, and similar fields.

Keywords – Oleoresin, resin, rosin, turpentine, covid-19

¹  avniyildizbas@gmail.com

²  aistek@bartin.edu.tr

³  cennetburcusari@gmail.com

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Canlı çam ağaçlarından çeşitli mekanik ya da kimyasal yöntemlerle elde edilen saf reçine yoğun, yapışkan yapıda ve genellikle akışkan özellik gösteren bir hammaddedir. Reçine opak, süt beyazı renktedir ve ağaçlardan elde edildiği için bir miktar çam ibreleri, ağaç kabukları, böcekler vb. orman kalıntıları içermektedir (Coppen, 1995; Çiçekler vd., 2018). Literatüre baktığımızda reçine ile ilgili üç farklı terimin kullanıldığı dikkat çekmektedir. Bunlar rosin (aynı zamanda kolofan olarak da adlandırılmaktadır) (Karlberg vd., 1980; Gören vd., 2010), oleoresin ve resin (reçine)'dir (Joye Jr ve Lawrence, 1967; Satil vd., 2011). Bazı kaynaklarda reçine aynı zamanda kolofan olarak da adlandırılmaktadır (Ayars vd., 1989). Bu ifadeden de anlaşılacağı üzere rosin ve resin aynı anlama gelmektedir. Kolofan adı da Lidyalılar döneminde Batı Anadolu'da yer alan Kolofon (Colophon) adlı şehirden gelmektedir. Aynı zamanda M.Ö. V. yüzyıla ait ticari belgelerde kolofan adına rastlanmaktadır (Olivares-Pérez vd., 2005; Olvera-Bautista vd., 2005; Sönmez vd., 2018). Bilimsel çalışmaların içeriğine uygun olarak hangi terimin kullanılacağına karar vermek açısından reçine ve oleoresin terimleri aşağıda açıklanmıştır.

Oleoresin, uçucu ve uçucu olmayan mono-, sesqui- ve diterpen reçine asitlerinin karışımıdır. Ksilemdeki özelleşmiş epitel hücreleri tarafından salgılanır ve köklerdeki, gövdelerdeki, iğnelerdeki ve kozalaklardaki boyuna ve enine reçine kanallarında birikir. Oleoresinin uçucu olan kısmını terebentin, uçucu olmayan katı kısmını ise reçine oluşturur (Cannac vd., 2009; Rodrigues-Corrêa vd., 2012; da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013; Pekgözlü ve Ceylan, 2021). Uçucu kısım terebentin, monotерpenler (örneğin α -pinen, β -pinen, limonen, δ -3-carene ve mirsen) ve sesquiterpenlerden (örneğin β -karyofillen ve farnesen) oluşmaktadır. Katı kısım reçine ise (rosin, resin ya da kolofan), %20-%50 nötr bileşenler dışında çoğunlukla abietik tip (abietik, levopimarik, pallustrik, neoabietik, dehidroabietik ve tetra abietik asitler) ve pimarik tip (pimarik ve izopimarik asitler) diterpenlerden meydana gelmektedir (Zinkel, 1989; Wiyono vd., 2006; Neis vd., 2019). Çeşitli çam türleri tarafından yayılan oleoresin içindeki uçucu bileşenlerin uzaklaştırılmasıyla katı olarak elde edilen reçine, 400 Da'lık düşük moleküler ağırlığa sahip biyolojik olarak parçalanabilen doğal bir polimerdir (Yadav vd., 2016). Gymnospermae'deki çam oleoresini, asetil CoA'dan metil-eritritol 4-fosfat (MEP) yolu ve mevalonat (MVA) yolu olmak üzere iki farklı metabolik yolla sentezlenir. Oleoresin, MEP yolağında DXP (1-deoksi-D-ksiluloz-5-fosfat), gliseraldehit-3-fosfat ve pirüvattan türetilen iki karbon atomunun yoğunlaşmasından oluşur. Monoterpenler ve diterpenler MEP yolu ile sentezlenirken, sesquiterpenler MVA yolu ile sentezlenir (Aydın, 2017; Wang vd., 2018).

İğne yapraklı ağaçlardan elde edilen oleoresin ve türevlerinin kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Hz. Nuh'un inşa ettiği gemiyi su geçirmez hale getirmek için Lübnan sedirinden elde ettiği zifti kullandığı rivayet edilmektedir. Antik Mısır medeniyeti, ölülerini mumyalamak için zift kullanmışlardır. Yunanlılar, binlerce yıldır beyaz reçineli Yunan şarabını (retsina) çam reçinesi ile tatlandırmışlardır (Darrow, 1983). Çam reçinesi, askeri gemiler de dâhil olmak üzere ahşap yelkenli gemilerin suya karşı yalıtım kazanmasını sağlamak için gemi yapımında kullanılmasından dolayı "Naval Stores" olarak biliniyordu. Naval Stores terimi, günümüzde çok yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, ticari anlamda kullanımına devam edilmektedir (Coppen, 1995; Silvestre ve Gandini, 2008). Genel olarak, ticari reçine üretimi üç ana yöntemle yapılmaktadır.

(1) Akma Reçine (Gum Naval Stores): dikili, canlı çam ağaçlarının gövdelerine farklı yöntemlerle yara açılarak yoğun bir emekle toplanan çam reçinesi, kauçuk üretimine benzer olarak üretilir. 4:1 veya 6:1 oranında damıtılarak çam terebentini (gum turpentine) ve çam kolofanı (gum rosin) elde edilir.

(2) Odun Ekstraksiyonu Reçinesi (Wood Naval Stores): Kesimden sonra uzun süre toprakta beklemiş çam dip kütük ve köklerinin yongalanıp yongaların çözücü ekstraksiyonu ile elde edilir. Ekstraksiyon sonucunda, odun ekstraksiyon terebentini (wood turpentine), odun ekstraksiyon kolofanı (wood resin), dipenten ve doğal pineoil üretilir.

(3) Sülfat Reçinesi (Sulphate Naval Stores): çam ağacı yongalarının sülfat (kraft) yöntemiyle hamur üretimi sırasında buhardan geri kazanılan yan ürünlerdendir. Aynı zamanda tall oil (tall yağı) olarak da bilinmektedir. Sülfat terebentin, pişirme buharlarından yoğunlaşır. Alkali likörlerden elde edilen ham tall yağı, tall yağı reçinesi ve tall yağı yağ asitleri dahil olmak üzere çeşitli ürünlere bölünür (Coppen, 1995; Abdel-Raouf vd., 2018; Öz, 2007; Deniz vd. 2019).

2. Reçine Üretimi Yapılan Diğer Odun ve Odun Dışı Bitkiler

Reçine bazen bitki özü veya eksüda gibi genel bir şekilde ifade edilir ve her ikisi de bitkilerde çok sayıda madde içerir. Yapışkan bitki salgısı olarak bilinen reçine bazı sözlüklerde suda çözünmeyen ve nihayetinde havaya maruz kaldığında sertleşen maddeleri içerecek şekilde ifade edilmiştir. Bununla birlikte, bu tadil edilmiş tanımın bile muğlaklığı, zamklar, müsilaclar, yağlar, mumlar ve lateks dâhil olmak üzere diğer bitki eksüdalarıyla sürekli karışıklığa yol açtığından sakız gibi bazı terimler genellikle reçine ile eşanlamlı olarak kullanılmıştır. Bitki reçinesi işlevsel olarak, genellikle bitkinin içinde (reçine kanalları) veya yüzeyinde bulunan özel yapılarda (glandular tüyler) salgılanan ve ekolojik etkileşimlerde potansiyel önemi olan uçucu ve uçucu olmayan terpenoid veya fenolik sekonder bileşiklerin organik çözücülerde çözünen bir karışımı olarak tanımlanır. Reçine salgıları, Gymnospermlerde ve Dicotyledonlarda Monocotyledonlardan daha yaygındırlar. (Langenheim, 2003; Dell ve McComb, 1979).

Engler ve Prantl tarafından listelenen 280 bitki familyasının yaklaşık olarak %10'unun kayda değer miktarda reçine sentezlediği ve bu familyalardaki 338 bitki cinsinin %25'inin reçine ürettiği belirtilmektedir. Başta ağaçlar olmak üzere gerçekten reçine üreten bitkilerin üçte ikisi tropikal türlerdir. Ağırlıklı olarak ılıman bölgelerde bulunan Conifera şubelerinde yer alan iğne yapraklı ağaç familyalarına ait tüm cinsler reçine sentezlerler, ancak yalnızca Pinaceae ve Araucariaceae familyasında yer alan türler kayda değer miktarlarda reçine üretir. Tropik bölgelerde yer alan Leguminosae (Fabaceae) ve Dipterocarpaceae bol miktarda reçine üretmeleriyle bilinmektedir. Reçine üreten diğer türlerin yer aldığı angiosperm familyalar arasında Anacardiaceae, Burseraceae, Guttiferae (Clusiaceae), Styracaceae, Hamamelidaceae, Rubiaceae, Umbelliferae (Apiaceae), Zygophyllaceae, Palmae (Arecaceae), Liliaceae, Euphorbiaceae, Convolvulaceae ve Compositae (Asteraceae) öne çıkmaktadır (Langenheim, 1969).

Dünya üzerinde iğne yapraklı ağaçlar dışında reçine üretimi yapılan diğer bazı önemli odun ve odun dışı bitkiler arasında; *Cistus ladanifer* L., *Commiphora abyssinica* Engl. (Sell, 2003), *C. myrrha* (T.Nees) Engl. (Mohamed vd., 2014), *Ferula gummosa* Boiss. (Jalali vd., 2012), *F. assa-foetida* L. (Barat ve Faravani, 2014), *F. galbaniflua* Boiss. & Buhse (Mahboubi vd., 2022), *F. rubricaulis* Boiss., *F. rigidula* Fisch. ex DC., *F. alliacea* Boiss., *F. narthex* Boiss. (Iranshahy ve Iranshahy, 2011), *F. sinkiangensis* K.M. Shen (Li vd., 2022), *Canarium luzonicum* (Blume) A. Gray, *C. commune* L. (Hernández-Vázquez vd., 2010), *Guaiacum officinale* L. (Izzo vd., 2021), *Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G. Don, *D. kerrii* King (Aslam vd., 2015), *Styrax benzoin* Dryand., *S. paralleloneurum* Perkins, *S. tonkinensis* (Pierre) Craib ex Hartwich (Fernández, 2004), *S. officinalis* L. (Vardar ve Oflas, 1973), *Boswellia sacra* Flueck., *B. carteri* Birdw., *B. frereana* Birdw., *B. papyrifera* Hochst., *B. serrata* Roxb. (DeCarlo vd., 2018), *Myroxylon balsamum* (L.) Harms (Payares-Díaz vd., 2014), *Copaifera officinalis* L. (Chen vd., 2009), *Pistacia lentiscus* L. (Kaliora vd., 2004), *P. atlantica* Desf. (Barrero vd., 2005), *P. terebinthus* L. (Kallis vd., 2019) türleri yer almaktadır. Bu türlerin salgıladığı reçineler özel isimler ile adlandırılır ve iğne yapraklı ağaç reçineleri gibi birçok farklı ve ekomik olarak önemli kullanım alanlarına sahiptirler. Örneğin *C. ladanifer*, yapraklarından ve gövdelerinden yaygın bir şekilde “labdanum gum” adıyla üretilen reçine, 2020'de küresel pazarı 200 milyar avroyu aşan kozmetik sektöründe ağırlıklı olarak kokular/parfümeri alanlarında kullanılmaktadır. (Frazão vd., 2022). Kenya'nın kurak ve yarı kurak bölgelerinde geniş bir yayılışa sahip *C. abyssinica* bitkisinden esansiyel yağ, sakız ve reçine bileşenleri bakımından zengin sarı ila kahverengi bir oleo-sakız reçinesi elde edilir. Bu reçine bileşenleri tıbbi, antimikrobiyal ve diğer özelliklerinden dolayı kozmetik, ilaç ve gıdalarda endüstriyel olarak kullanılırlar (Waweru vd., 2016). *F. assa-foetida*'nın oleo-sakız-reçinesi ise “asafoetida” olarak bilinmekte ve

bazı ülkelerde baharat ve şifalı bitki olarak tüketilmektedir. Asafoetida reçinesinin ana bileşenleri arasında, ferulik asit, sesquiterpen, kükürt içeren bileşikler, monoterpenler ve diğer uçucu terpenoidler yer almaktadır. Çin, Avrupa, İran ve Hint geleneksel tıbbına göre, asafoetida reçinesi, farklı hastalık türleri üzerinde terapötik etkilere sahiptir. Bu etkilerin bir kısmı histerezis ve konvülsiyon gibi sinir sistemi hastalıkları ile ilgilidir (Moghadam vd., 2014; Kavooosi ve Rowshan, 2013).

3. Dikili Ağaçlarda Reçine Elde Etmede Kullanılan Yöntemler

Pinus, *Picea*, *Pseudotsuga* ve *Larix* dâhil olmak üzere birçok kozalaklı bitki cinsinin gövde, kök, iğne ve üreme yapılarında reçine kanalları bulunmaktadır. Aksiyal reçine kanalları, ksilemde ve köklerin ve gövdelerin korteksinde bulunur. Kortikal reçine kanalları, kozalaklı ağaçların ilk gelişim aşamalarında önemli reçine depolarıdır. Buna karşın ksilem reçine kanalları, olgun ağaçlarda ana reçine kaynağı haline gelir. Radyal reçine kanalları floemde ve ayrıca ksilemde bulunur ve genellikle aksiyal reçine kanallarına bağlanır ve bol miktarda reçine sızıntısı sağlayan karmaşık bir üç boyutlu ağ yapısı oluşturur. Ayrıca mantar istilası, böcek saldırısı ve dış etkilerden kaynaklı yaralanmalar travmatik reçine kanallarının gelişmesine yol açar. Travmatik reçine kanallarının oluşumu, yaralı bölgeye yakın dokulardaki çevresel bozulmalara yanıt olarak reçine üretimini ve akışını artırır (Neis vd., 2019; Vázquez-González vd., 2020).

Reçine elde etme tekniği denilince, farklı endüstriyel işlemlerle reçine sakızı, terebentin ve türevlerine dönüştürülen hammadde olan oleoresin üretmek için gerçekleştirilen ticari faaliyet anlaşılmaktadır. Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan dört adet reçine elde etme yöntemi vardır. Bu yöntemler; Çin yöntemi, Amerikan yöntemi, Hugues ya da Fransız yöntemi ve Mazek ya da Rill yöntemidir (Cunningham, 2012). Dünya üzerinde yaygın olarak kullanılan reçine elde etme yöntemleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Reçine elde etmede kullanılan yöntemler (Cunningham, 2012).

Dikili ağaçlardan endüstriyel seviyede reçine elde etme 18. yüzyılın başlarında başlamıştır. Ağaca zarar vermeyen ilk yöntem Fransa’da geliştirilmiştir ve Hugues veya Fransız yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntem ile reçine kanallarında bulunan reçineyi serbest bırakmak için her 5-6 günde bir ağacın gövdesini ksileme kadar yaralamak gereklidir. Hugues yönteminin ilk bulunduğu günden bugüne tek endişe yaratan dezavantajı, reçinenin hızlı bir şekilde kristalleşme eğiliminde olması ve bundan dolayı akışın önemli ölçüde azalarak durmasıdır (Cunningham, 2012; Puente-Villegas vd., 2020).

Çin yönteminde, ağacın gövdesinin üzerinde sekonder ksileme ulaşana kadar V şeklinde oluk oluşturacak şekilde çizikler atılır. İlk çizik yerden 1.2 metre yükseklikte atılır ve diğer çizikler aşağıya doğru ilk çizik altına devam eder. Bu işlem kabaca ağacın çapının yarısına ulaşana kadar devam eder. Hem Hugues hemde Çin yönteminin her ikisinde de kimyasal uyarıcı kullanılmaz. Bu yöntem genellikle Çin’de kullanılmaktadır (Cunningham, 2012; da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013).

Amerikan yönteminde, ağaç gövdesinden yalnızca floem ve kabuk kısmı uzaklaştırılır. Daha sonra, yerden 20 cm yüksekte yatay veya V şeklinde oluk oluşturacak şekilde ilk çizik atılır. Sonraki çizikler yukarıya doğru devam eder. Olukların uzunluğu ağaç çevresinin yaklaşık üçte biri kadardır ve genişliği 2 ila 3 cm arasında değişir. Bu işlem her 14 ila 18 günde bir tekrar edilir. Bu yöntemde, % 18 ila 24 sülfürik asit (H₂SO₄) içeren bir uyarıcı macun uygulanır. Bu yöntemde kullanılan yatay ve V şeklinde çiziklerin oleoresin verimi üzerindeki etkisi *Pinus elliottii* Engelm. taksonunda test edilmiş ve her ikisinin de eşdeğer verime sahip olduğu bulunmuştur. Bu yöntemin genellikle Brezilya, Arjantin, Portekiz ve İspanya'da kullanıldığı belirtilmektedir (Cunningham, 2012; da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013).

Mazek ya da Rill yönteminde, üniversal rende adı verilen bir alet kullanılmaktadır. Yerden 20 cm yukarıdan başlanarak bir kızılaltı alanı açılır ve kabuk 3 mm kalınlığa kadar inceltir. Bu alan 40 × 40 cm boyutlarında tutulur. Amerikan yöntemindeki gibi 2 – 3 cm genişliğinde yukarıya doğru oluk oluşturacak şekilde V şeklinde çizikler atılır. Bu işlem 24 saat, 3 veya 7 günde bir değişken aralıklarla tekrar edilir. Sprey şeklinde %50'lik H₂SO₄ ve %50 hidroklorik asit (HCl) uyarıcı olarak uygulanır. Bu yöntem şu anda Endonezya ve Hindistan'da kullanılmaktadır (Deniz, 2002; Cunningham, 2012; da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013).

Kullanılan bu yöntemler dışında diğer bir yöntem ise kapalı yara yöntemi olan oyma delik veya Eurogem (Şekil 2) olarak adlandırılan yöntemdir (Deniz, 2002; Cunningham, 2012). Oyma delik yöntemi diğer geleneksel yöntemlere kıyasla, işçi üretkenliğinin daha yüksek olması, yüksek ürün kalitesi, ağaca daha az hasar verme ve strese sokma ve çam ibreleri, ağaç kabukları, böcekler vb. orman kalıntılarının azalması gibi avantajlara sahiptir. Oyma delik yönteminin oleoresin verimi, deliğin çapı, derinliği, sayısı, aralığı, yönü, kimyasal uyarıcılar ve toplama kabı türünden önemli ölçüde etkilenmektedir (Hodges ve Johnson, 1997).



Şekil 2. Oyma delik veya Eurogem yöntemi (Foto: A. İstek)

Son yıllarda dikili çam ağaçlarından oyma delik yöntemiyle reçine üretiminde kullanılmak üzere endüstriyel bir robot geliştirilmiştir. Bu robotun görevi çam ağacında birbirine yakın üç deliği açmak, deliklere kimyasal uyarıcı püskürtmek, açılmış olan deliklerden birine toplama poşeti takılı plastik tüp yerleştirmek ve diğer iki deliğe tapan takmak gibi işlemler yapmaktır. Ayrıca yapılan bu çalışmada robotik işlemlerin gerçek saha koşullarında uygulanabilirliğine ilişkin zorluklar ortaya konulmuştur. Ancak, bu robotun tam üretim operasyon döngüsü sahada onaylanmayı beklediği belirtilmektedir (Gurau vd., 2021).

4. Reçine Üretiminde Verim ve Kaliteyi Etkileyen Faktörler

Dikili ağaçlardan reçine üretim verimini ve kalitesini etkileyen birçok faktör vardır. Reçine verimi; ağaç türüne, konum ve çevresel faktörlere, reçine elde etmede kullanılan yöntem, ağaç morfolojisine, ağacın kısımlarına, toplama kabının kalitesine, kullanılan uyarıcı kimyasallara, gövdenin yönüne, toprak yapısına, ormanın kapallılığın ve eğim gibi faktörlere bağlıdır (Upadhyay, 2008).

Reçine üretim verimini etkileyen önemli faktörlerden birisi de, ağaçların bireysel intrinsik özellikleridir (aynı türe ait farklı bireylerin genetik özellikleri). Amerika’da *Pinus elliottii* taksonu ile ilgili yapılan çalışmalarda, reçine veriminin ağacın genetik yapısından kaynaklandığı ve %70 gibi yüksek bir oranda kalıtsallık gösterdiği ortaya konmuştur (Acar vd., 1996; Aydın, 2017). Yine aynı taksona ilişkin yapılan bir çalışmada, reçine veriminin ağacın boy artımı ile doğrusal ilişkili olduğu ve hızlı büyüyen bireylerde reçine veriminin de yüksek olduğu tespit edilmiştir (Acar vd., 1996). Bununla birlikte, reçine kanallarının boyutları ve sayısı, reçinenin akış hızı, ağaç içinde reçine akış basıncı ve reçine viskozitesinin reçine verimi üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir (Önal, 1995; Acar vd., 1996; Aydın, 2017). Akma reçine üretiminde asit-pasta yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, üretime başlanan ilk yılı takiben diğer yıllarda reçine verimi daha yüksek olmuştur. Bu durumun, çam türlerinde doğal olarak bulunan reçine kanallarına ilaveten yaralama sonucu travmatik yeni reçine kanallarının oluşmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Acar vd., 1996). Tüm bu faktörlerin yanı sıra, işçilerin deneyimli olup olmaması, reçine elde etme yönteminin doğru uygulanıp uygulanmadığı, kullanılan alet ve malzemelerin uygunluğu vb. faktörlerinde reçine verimini etkilediği belirtilmiştir (Aydın, 2017).

Türkiye’de sahil çamının kızılçama göre reçine veriminin yüksek olduğu, ağaç çapı arttıkça reçine veriminin arttığı, yükselti artışıyla genel olarak verimin azaldığı ifade edilmektedir. Reçine verimi, her iki tür için 0–100 m yükseklikte ve 38 cm ve daha üzeri çaplarda daha yüksek olduğu bulunmuştur. Oyma delik yönteminde verimin ağaç çapı ve yükselti ile orantılı olarak değişmediği ve asit-pasta yöntemine göre verimin düşük olmasına rağmen, reçinesinin daha temiz ve terebentin oranının ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Aydın, 2017). Çeşitli çam türlerinde, çap ve tepe çatısı genişliğindeki artışın reçine verimini arttırdığı bulunmuştur. Filipinler’de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon türüne ilişkin yapılan çalışmada onar cm çap kademelerinin reçine verimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Reçine verimi çoktan aza doğru 40–50 cm, 50–60 cm, 30–40 cm, 60–70 cm ve 20–30 cm’lik çap kademesi dizilimi göstermiştir (Acar vd., 1996). Ayrıca, aylık ve yıllık reçine üretim miktarında doğrudan ağacın taç kısmının da etkili olduğu ifade edilmektedir. İyi bir reçine verimi için ağaç yüksekliğinin en az üçte birine kadar uzanan canlı dalları olan ağacın ve taç uzunluğunda %10’luk bir artışın, reçine verimini artıracakı vurgulanmaktadır. %40 ile %55 taç oranlarına sahip olan ağaçların ardışık üç reçine üretim yılı boyunca birinci yıl verim seviyelerini koruduğu ve taç oranı %40’ın altında olan ağaçlardaki verimin sonraki yıllarda azaldığı tespit edilmiştir (Panda, 2008).

5. Türkiye’de ve Dünyada Reçine Üretimi

Çam reçinesi birçok endüstriyel ürünün hammaddesi ve önemli bir odun dışı orman ürünüdür. Elde edilmesi kolay, ucuz ve yenilenebilir bir hammadde olduğu için çam reçinesi ve çeşitli işlemlerle elde edilen yan ürünleri birçok kullanım alanına sahiptir. Bazı kullanım alanları arasında fungusitler, insektisitler, kokular, boyalar ve çözücüler, yapıştırıcılar, kauçuk sanayi, biyoyakıtlar ve özellikle biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, ilaç sentezinin öncüleri ve gıda katkı maddeleri gibi ince kimyasalların üretimi yer almaktadır (de Oliveira Junkes vd. 2019). Çam reçinesinin ve türevlerinin kullanım alanları çok çeşitli olduğu için ve ayrıca kırsal alandaki insanlara istihdam sağladığı için dünya üzerinde yıllardır üretimi yapılmaktadır (Sharma ve Lekha, 2013).

Çam reçinesinin dünya üzerinde Güney Çin, Endonezya, Vietnam’ın kuzey kesimi, Amerika Birleşik Devletleri’nin Güney Atlantik ve Doğu Körfezi eyaletleri, Meksika, Kuzey Avrupa, Pakistan ve Hindistan’da üretimi yapılmaktadır (Yadav vd., 2016). Dünyada yaklaşık 100 çam türü reçine üretimi için çeşitli yöntemlerle yararlanmaktadır. Reçinenin neredeyse dörtte üçü doğal çam meşcerelerinden, başlıca *Pinus massoniana* Lamb., *P. yunnanensis* Franch. ve *P. merkussii* Jungh. & de Vriese’den üretilir; diğer çeyrek ise, çoğunlukla *P. elliottii* ve çeşitli *P. caribaea* Morelet türleri olmak üzere dikilmiş meşcerelerden elde edilir (Cunningham, 2012; Yadav vd., 2016). 1960’lı yıllarda Amerika’da reçinenin % 50’si *P. palustris* Mill. ve *P. elliottii*’den elde edilmiştir. Yine aynı yıllarda *P. pinaster* Aiton, *P. halepensis* Mill., *P. sylvestris* L., *P. oocarpa* Schiede ex Schldl., *P. pseudostrobus* Lindl. ve *P. longifolia* Salisb. Fransa, Rusya, İspanya,

Portekiz, Hindistan, Meksika ve Yunanistan'da reçine elde etmek için yaralanmıştır. Günümüzde ise reçine üretiminin % 90'ı beş çam türünden sağlanmaktadır. Bu türler: *P. massoniana*, *P. yunanensis*, *P. elliottii*, *P. caribaea* Morelet ve *P. merkusii*'dir. Ayrıca *P. kesiya*, *P. oocarpa*, *P. pinaster*, *P. roxburghii* Sarg. ve *P. tabuliformis* Carrière türleride reçine üretimi için yaralanmaktadır (Cunningham, 2012). Dünyada ticari olarak reçine üretimi için kullanılan başlıca çam türleri Tablo 1'de verilmiştir.

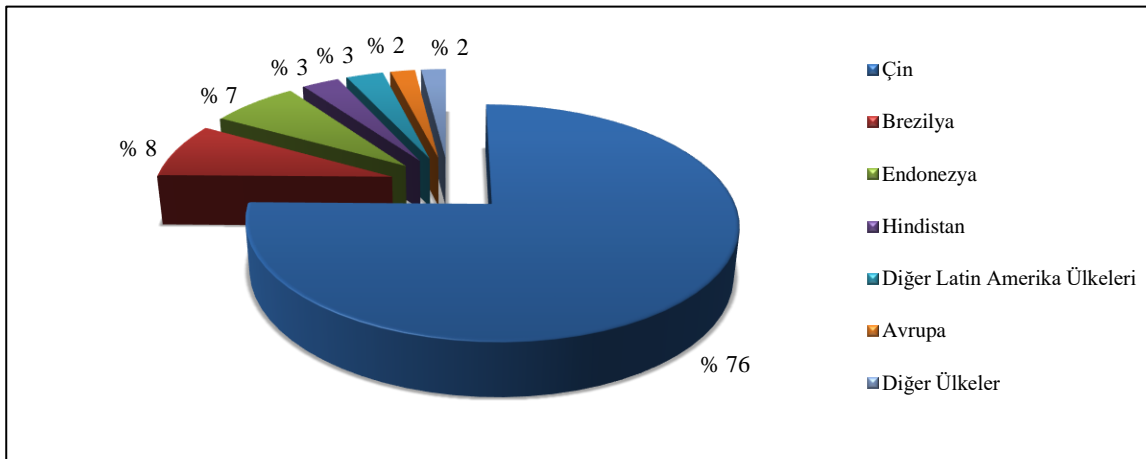
Tablo 1

Ticari olarak kullanılan reçine kaynakları: türler ve üretim ülkesi (Yadav vd., 2016)

Çam Türleri	Üretim Yapan Ülkeler
<i>Pinus elliottii</i>	Brezilya, Arjantin, Güney Afrika, Amerika Birleşik Devletleri, Kenya
<i>Pinus massoniana</i>	Çin
<i>Pinus kesiya</i>	Çin
<i>Pinus pinaster</i>	Portekiz
<i>Pinus merkusii</i>	Endonezya, Vietnam
<i>Pinus roxburghii</i>	Hindistan, Pakistan
<i>Pinus oocarpa</i>	Meksika, Honduras
<i>Pinus caribaea</i>	Venezuela, Güney Afrika, Kenya
<i>Pinus sylvestris</i>	Rusya
<i>Pinus halepensis</i>	Yunanistan
<i>Pinus radiata</i> D. Don	Kenya
<i>P. brutia</i> Ten, <i>P. pinea</i> L. ve <i>P. pinaster</i>	Türkiye (Angın, 2020)

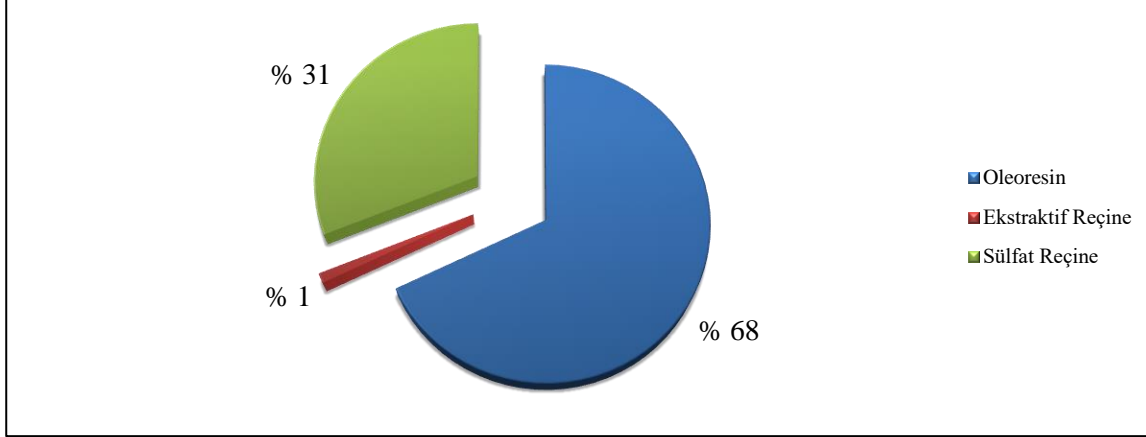
Antik çağda, *P. halepensis*'ten reçine üretiminde Yunanlıların öncü olduğu bilinmesine rağmen, Avrupa'da Fransa'da M.Ö. 100'den önce oleoresin üretimine dair kanıtların olduğu belirtilmiştir. Halep Çamı Akdeniz kıyısı boyunca geniş bir yayılışa sahip olmasına rağmen, yaklaşık olarak 1800'lerin ortalarından beri Fransa'da reçine üretiminde sahil çamı (*P. pinaster* sinonim *P. maritima* Mill.) ana tür olarak kullanılmıştır. Bugün, Fransa'da reçine üretimi yapılmamaktadır. Dünya üzerinde ham reçine (oleoresin) üretimine 1987'den 1989'a kadar Çin, eski Sovyetler Birliği ve Brezilya sırasıyla yaklaşık olarak % 55, %12 ve % 10' luk katkı sağlamışlardır (da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013).

Günümüzde Çin, Brezilya ve Endonezya dünyanın en önde gelen çam reçinesi üreticileridir. Dünyadaki çam reçinesi üretiminin % 90'ından fazlasını bu ülkeler karşılamaktadır (Cunningham, 2012; da Silva Rodrigues-Corrêa vd., 2013; Aloui vd., 2022). Hindistan, Arjantin, Meksika, Nepal, Rusya Federasyonu, Portekiz, İspanya, Küba, Vietnam, Madagaskar, Fiji, Honduras, Güney Afrika, Kolombiya, Malezya ve Uruguay da çam reçinesi üreticisidir (Cunningham, 2012; Yadav vd., 2016). Dünya üzerinde reçine üretiminde önde gelen ülkeler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Dünya üzerinde reçine üretiminde önde gelen ülkeler (Yadav vd., 2016).

2010 yılında dünyada 1.114.000 ton olan toplam reçine üretimi, 2016 yılında 1.2 milyon tona ulaşmıştır. Bu rakamın yaklaşık 720.000 tonunun ya da diğer bir ifade ile % 68'inin oleoresin, geri kalanın yaklaşık %31'inin sülfat reçinesi ve diğer kısmının ise ekstraksiyon reçinesi (Şekil 4) olduğu tahmin edilmektedir (Cunningham, 2012; Yadav vd., 2016).



Şekil 4. Dünya üzerinde üretilen reçine türleri (Yadav vd., 2016).

Amerika, Finlandiya, İsveç ve eski Sovyetler Birliği ülkeleri “şu an ki Baltık ülkeleri” dünya üzerinde önde gelen sülfat reçinesi ya da diğer adıyla tall oil üreticisi olan ülkelerdir (Karlberg, 2000; Karlberg ve Hagvall, 2020).

Türkiye’de reçine üretimi ile ilgili ilk girişimler 1850 yılında başlamış olmasına rağmen ülkenin sahip olduğu potansiyel iyi değerlendirilememiştir. Bu sebepten dolayı yıllar içerisinde reçine ve türevlerine olan ihtiyaç konusunda ithalatçı konumuna düşmüştür (Angın, 2020). Türkiye’de reçine üretimi 1874 yılına kadar plansız bir şekilde yapılmıştır. 1850’den 1874’e kadar geçen bu süre plansız reçine üretiminin yapıldığı dönem olarak bilinmektedir. İlk kez 1874 yılında bir yönetmelik kabul edilmiştir. 1874–1959 yılları arasında reçine üretimi yayınlanan bu yönetmeliğe göre sınırlı miktarda gerçekleştirilmiştir. 1959 yılında Orman Genel Müdürlüğü (OGM) “Reçine Talimatı” yönetmeliğini yayınlamış ve daha planlı bir üretim yapılmaya başlanmıştır (Deniz, 2002; Angın, 2020). 1962 yılında yürürlüğe giren “Reçine İstihsal Edilecek Ormanlarda Amenajman Planı Tazim ve Tatbikine Dair İzahname” esaslarına göre Adana, Antalya, Bursa, Denizli, İzmir, Mersin ve Muğla Orman Bölge Başmüdürlüklerinde reçine üretimi yapılan Kızılcım ormanlarının amenajman planları düzenlenmiş ve uygulamaya geçilmiştir. OGM 1980’li yıllardan 2000 yılına kadar, reçine üretimi yapılacak olan ağaçları “Alivre Vadeli Açık Arttırma Suretiyle Asit-Pasta Metodu Yolu ile Yapılacak Reçine Üretim ve Satış Şartnamesine” göre belirlemiştir. Türkiye’de dikili ağaçlardan reçine üretimi çok eski tarihlerde başlamış olmasına rağmen, o tarihlerde reçine elde etmede elverişli yöntemler uygulanmadığı için genelde olumlu sonuçlar alınamamıştır. 1955-1956 yıllarında deneme amacıyla Kızılcımdan Mazek-Fialla’nın çizgi yöntemiyle reçine elde etme yoluna gidilmiştir. Türkiye’de reçine üretim miktarları Tablo 2’de verilmiştir (Ursavaş, 2002). 2013 yılında OGM’nin “297 sayılı Odun Dışı Orman Ürünlerinin Envanter ve Planlama ile Üretim ve Satış Esasları” yönetmeliğinin yayınlaması ile reçine üretiminde yeni ve bilinçli bir döneme geçilmiştir. OGM, 2016 yılında “302 sayılı Odun Dışı Orman Ürünlerinin Envanter ve Planlaması ile Üretim ve Satış Esasları” isimli tebliği yayımlayarak 2013 yılındaki 297 sayılı tebliği güncellemiştir. 2016 yılında yayınlanan bu tebliğe göre, reçine üretiminde asit-pasta metodunun kullanılacağı bununla birlikte kötü bonitetli sahalarda üretim yapılmayacağı belirtilmiştir. 2017 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Türkiye’nin reçine üretiminde dışa olan bağımlılığını azaltmak ve ormanlardaki reçine potansiyelini üretime kazandırmak amacıyla 2017-2021 yılları arasında uygulanacak olan Reçine Eylem Planını faaliyete koymuştur. Bu eylem planı ile 5 yılda 85 ton akma reçine üretilmesi planlanmıştır (Kenan ve Mehtap, 2018; Angın, 2020).

Reçine Eylem Planının ilk senesi olan 2017 yılında 30 ton ham reçine üretim ve satışı planlanmış, üretim sezonu sonunda ise 43 ton ile planlanan miktarın üzerinde üretim gerçekleştirilmiştir. Üretilen reçinenin ise tamamı satılmıştır. Bir sonraki yıl, 175 ton ham reçine üretim ve satışı planmış ve gerçekleştirilmiştir. 2019 yılında 275 ton ham reçine üretim ve satışı hedeflenirken gerçekleştirilen rakam 290 ton olmuştur. 2020 yılında 900, 2021 yılında 1530 ton reçine üretim ve satışı planlanmış, üretim sezonu sonunda sırasıyla 928 ve 1558 ton ile planlanan miktarların üzerinde üretim ve satış gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, Reçine Eylem Planı içerisinde üretilmesi planlananın çok üzerinde üretim gerçekleştirilerek hedefe ulaşılmıştır. Reçine Eylem Planının tamamlanmasından ardından 2022 yılında 1750 ton ham reçine üretim ve satışı planlanırken, üretim sezonu sonunda 2283 ton ile hedeflenenin üzerinde üretim ve satış gerçekleştirilmiştir (Müdürlüğü, 2018; 2019; 2020; 2021; 2022; 2023). Reçine üretimi yıllar bazında incelendiğinde, bugüne dek en yüksek üretim 6645 ton ile 1971 yılında gerçekleştirilmiştir. 2000’li yıllarda durma noktasına gelen reçine üretimi, Reçine Eylem Planının ilk yılından itibaren tekrardan artış göstermeye başlamıştır. Türkiye’de, geçmiş yıllarda reçine üretiminde, ağaçların fizyolojik ve teknolojik özellikleri göz önünde bulundurulmaksızın büyük yara yöntemlerinden Yunan Sofiko yöntemi kullanılmıştır. Ancak bu yöntem bir yandan reçine verimini azalttığı diğer yandan ise ağaçlarda çıralama yaptığı için terkedilmiştir. 1956 yılından itibaren ise Mazek-Fialla Çizgi yöntemi uygulanmış ve iyi sonuçlar alınmıştır (Deniz, 2002). Türkiye’de üretim için *P. brutia*, *P. pinea* ve *P. pinaster* türlerinden yararlanılmaktadır (Angın, 2020).

Tablo 2

Türkiye’de Yıllar İtibariyle Reçine Üretim Miktarları (Ursavaş, 2002).

Yıllar	Üretim (Ton)	Yıllar	Üretim (Ton)
1956	340	1991	90
1960	2770	1992	205
1965	3850	1993	207 (Aydın, 2017)
1970	6062	1996	125
1971	6645	1997	223 (Batur vd., 2008)
1972	6497	1998	391 (Batur vd., 2008)
1973	4357	1999	576 (Aydın, 2017)
1974	2651	2000	Durdu-Yok
1975	1083	2001	Durdu-Yok
1976	2842	2002	Durdu-Yok
1977	3478	2003	255 (Aydın, 2017)
1978	3858	2004	3 (Aydın, 2017)
1979	3999	2011	12 (Aydın, 2017)
1980	3940	2012	153 (Aydın, 2017)
1981	3847	2013	26 (Aydın, 2017)
1982	2998	2014	3 (Aydın, 2017)
1983	3036	2015	3 (Aydın, 2017)
1984	400	2016	21 (Aydın, 2017)
1985	220	2017	43 (Müdürlüğü, 2018)
1986	530	2018	175 (Müdürlüğü, 2019)
1987	302	2019	290 (Müdürlüğü, 2020)
1988	113	2020	928 (Müdürlüğü, 2021)
1989	132	2021	1558 (Müdürlüğü, 2022)
1990	180	2022	2283 (Müdürlüğü, 2023)

6. Covid-19’un Reçine Üretimine Etkisi

Reçineli ağaç türlerinden elde edilen bir ton kraft hamurundan ortalama 40–50 kg ham tall yağı (crude tall oil: CTO) elde edilmektedir. 2017 yılında küresel CTO üretim potansiyeli maksimum 2.2 milyon ton olmasına karşın, 1.9 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. CTO üretiminin 1 milyon tonu Kuzey Amerika’da, 550 bin tonu Avrupa’da, 170 bin tonu Rusya’da ve 180 bin tonu dünyanın geri kalanında gerçekleştirilmiştir. 2015–2020 yılları için Finlandiya ve İsveç’teki kâğıt hamuru fabrikalarına yapılan 4 milyar ABD doları yatırım, 150 bin ton ek CTO üretimi ile sonuçlanmıştır. 2017 yılında üretilen 1.9 milyon

ton CTO'nun %79'u fraksiyonlamada, %12'si biyoyakıtlarda ve %9'u diğer kullanım alanlarında talep görmüştür. 2017 yılında dünya üzerinde toplam 460 bin ton talloil yağ asidi (TOFA) üretimi gerçekleştirilmiştir. TOFA üretiminin %38'i ABD'de, %24'ü Finlandiya'da, %14'ü İsveç'te, %9'u Rusya'da, %8'i Fransa ve Japonya'da, %4'ü Çin ve Avusturya'da ve %3'ü dünyanın diğer ülkelerinde gerçekleşmiştir. Dünya üzerinde, yine aynı yılda 1.170 milyon ton kolofan üretilmiş olup, kolofanın 450.000 tonu yani %38'i tall yağı kolofanından (TOR), %61'i akma reçineden elde edilen çam kolofanından ve %1'i ekstraksiyon kolofanından elde edilmiştir. Üretilen kolofan yapıstırıcılar, yol işaretleri, mürekkepler, kâğıt endüstrisi ve kauçuk endüstrisinde talep görmüştür. Küresel çapta 2.490.000 ton reçine üretimi yapılmıştır. Reçine üretiminin %50'sini hidrokarbon reçineleri, %47'sini kolofan ve %3'ünü terpen reçineleri oluşturmuştur. Bu üretim miktarına karşın petrol bazlı hidrokarbon reçineleri pazar payı kazanmaya başlamıştır. Artan çevresel kaygılar ve çevre üzerinde daha az etkiye sahip ürünlere olan talep, sürdürülebilir bir değer zincirine dayanan çam kimyasallarının daha fazla kullanılmasına yol açacağı ifade edilmektedir (Baumassy, 2017).

Covid-19 pandemisi dünya üzerinde 200'den fazla ülkeyi vurarak küresel bir etkiye sahip olmuştur. SARS-CoV-2 virüsünün neden olduğu koronavirüs hastalığı (COVID-19) küresel bir sağlık sorununa neden olduğu gibi evde izolasyondan dolayı dünya ekonomisini de önemli ölçüde etkilemiştir. Birçok endüstriyel kullanıma sahip olan reçine üretimi de etkilenen sektörlerden birisi olmuştur. 2018 yılında, dünya üzerinde Amerika'da 120 bin, Çin'de 90 bin, Hindistan'da 60 bin, Fransa'da 40 bin ve diğer ülkelerde 40 bin ton olmak üzere terebentin üretimi toplam 345 bin ton, TOFA üretimi 460 bin ton ve kolofan üretimi 70 bin ton olarak 1 milyon 240 bin ton olarak gerçekleşmiştir. Üretilen 345 bin ton terebentinin, 145 bin tonu çam terebentininden ve 205 bin tonu ham sülfat terebentininden (CST) elde edilmiştir. Dünyanın CST fraksiyonlama kapasitesi 245 bin ton iken, bu kapasitenin 205 bin tonu kullanılmıştır. Amerika'da 145 bin ton CST fraksiyonlama kapasitesine sahip 4 fabrika, Fransa'da 50 bin ton kapasiteye sahip 1 fabrika, Hindistan'da 30 bin ton kapasiteli 1 fabrika ve diğer ülkelere Şili'de 1, Yeni Zelanda'da 1 ve Rusya'da 1 adet toplamda 25 bin ton kapasiteli 3 fabrika bulunmaktadır. Dünya üzerinde, 2018 yılında üretilen 2 milyon ton CTO'nun %49'unu Kuzey Amerika ülkeleri, %42'sini Avrupa/Rusya ve %9'unu diğer ülkeler gerçekleştirmiştir. 2018 yılında CTO'ya olan talep sektör bazında 2017 yılında olduğu gibi değişmeden kalmıştır. TOR'dan elde edilen kolofan 2018 yılında %36'ya gerilemiş olmasına rağmen kolofan üretimindeki artıştan dolayı 450.000 ton ile bir önceki sene ile aynı kalmış olup, akma reçineden elde edilen %63'e yükselmiş ve ekstraksiyon kolofanı %1 ile sabit kalmıştır. TOR üretiminde %47 ile ABD birinci sırada yer alırken, onu sırasıyla %32 ile Finlandiya ve İsveç, %6 ile Rusya, %5 ile Fransa, %4 ile Japonya, %4 ile Avusturya ve Çin ve %2 ile dünyanın diğer ülkeleri takip etmiştir. 2018 yılında, küresel çapta 2 milyon 610 bin ton reçine üretimi yapılmıştır. Üretilen reçinenin %50'sini hidrokarbon reçineleri, %47'sini kolofan ve %3'ünü ise terpen reçineleri oluşturmuştur. Hidrokarbon reçineleri ticari olarak önemli hale gelmeye başlamıştır. Terpen reçineleri ise yüksek üretim maliyetleriyle karşı karşıya kalmıştır. Sürdürülebilir, sübvans edilmemiş biyo-temelli bir endüstri olan CTO sektörü, CTO dışında diğer biyokütlelerden biyodizel üretiminden dolayı sürdürülebilirlik tehlikesi ile karşı karşıya kaldığı ifade edilmektedir. Lezzet/koku, çözücü ve reçine endüstrilerinden CST ve akma reçineden elde edilen terebentine yüksek talep olmasına rağmen, maliyet hususlarının kullanıcıları alternatif ürünler aramaya itebileceği dikkat çekmektedir. Ticari olarak önemli hale gelen hidrokarbon reçineleri, kolofana olan talebi etkilemektedir. TOFA'ya olan talep halen yüksek olmasına rağmen, diğer bitkisel yağlara kıyasla yalnızca 500 bin ton civarında üretilmiştir (Baumassy, 2018).

2019 yılında çam terebentin üretimi 5 bin ton azalarak 140 bin ton olarak gerçekleşmiştir. CST üretimi bir önceki yıl ile aynı miktarda kalmıştır. 2019 yılında toplam terebentin üretimi 5 bin ton azalarak 345 bin tona düşmüştür. Terebentine olan talebin %30'unu reçine endüstrisi ve %70'ini ise koku, temizlik, yiyecek ve kozmetik sanayi gibi sektörler oluşturmuştur. Dünya üzerinde, koku ve reçine endüstrisinde terebentine yüksek talep olmuştur. 2017 yılında bir BASF (Almanya merkezli çok uluslu bir kimya şirketi) fabrikasında ve 2018 yılında Hindistan'da iki terpen türevi fabrikasında çıkan yangın ve çevresel nedenlerden dolayı

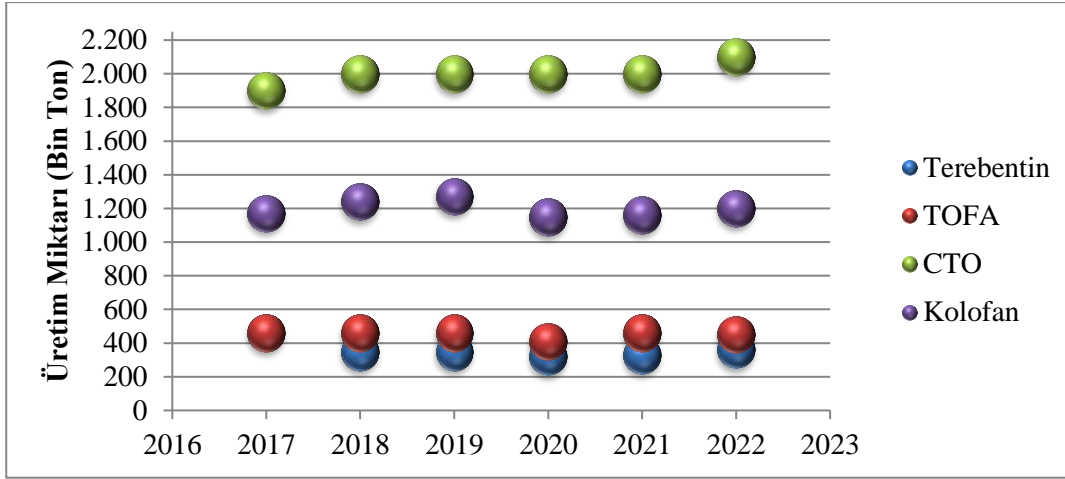
Çin'deki fabrika kapanışları doğal kaynaklı terpen türevleri için ek talep ortaya çıkarmıştır. CTO üretimi ise 2018 yılında olduğu gibi 2 milyon tonda kalmıştır. 2019 yılında CTO üretim miktarı sabit kalmasına rağmen, biyoyakıtlarda kullanım talebi %16'ya yükselmiş, fraksiyonlamada kullanım talebi %75'e gerilemiş ve diğer kullanım alanlarındaki talep ise %9 ile sabit kalmıştır. 2020–2025 yılları için kâğıt hamuru fabrikalarına yapılan yatırımların 200 bin ton ek CTO ile sonuçlanacağı, ancak biyoyakıtlara yönelik CTO talebinin 200–500 bin tona yükselebileceği tahmin edilmektedir. 2019 yılında, TOFA üretimi bir önceki yıl ile aynı olmuştur. Kolofan üretimi bir önceki yıla göre 30 bin ton artarak 1 milyon 270 bin tona yükselmiştir. Buna karşın, TOR'dan elde edilen kolofan, çam kolofanı ve ekstraksiyon kolofanı üretim oranları sabit kalmıştır. Küresel çapta TOR üretimi, 2017 ve 2018 yılında olduğu gibi 450 bin tonda sabit kalmıştır. Dünyada 2019 yılında 805 bin ton çam kolofanı üretimi gerçekleştirilmiş olup küresel reçine üretimi 40 bin ton artarak 2 milyon 650 bin tona yükselmiştir. Bu üretimin %49'unu hidrokarbon reçineleri, %48'ini kolofan ve %3'ünü terpen reçineleri oluşturmuştur (Baumassy, 2019).

Covid-19'dan dolayı, dünya ekonomisinin küresel yavaşlamasına bağlı olarak çam reçinelerine olan talep 2020 yılında azalmıştır. CTO üretimi nispeten aynı seviyede kalmış, ancak Covid-19'dan dolayı CTO fraksiyonlama rafinerileri yavaşlatılmış veya kapatılmış ve biyoyakıtlara olan talep azalmıştır. CTO pazarı aynı seviyede kalırken, TOR pazarı dar boğaza girmiştir. ABD ve Avrupa'daki bazı selüloz fabrikaları 2020 sonbaharında bakım çalışmalarını durdurmuştur. Ayrıca, ABD'deki kâğıt hamuru fabrikaları üretimi düşürmüştür. Bundan dolayı, 2019 yılında 460 bin ton olan TOFA üretimi 2020 yılında 50 bin ton azalarak 410 bin tona gerilemiştir. Ayrıca, ABD'de petrol sahası için tall yağı türevlerine olan talepte sert bir düşüş yaşanmış ve son kullanım alanlarında da TOFA'ya olan talep azalmıştır. Buna karşın, ABD'de TOFA'ya olan talep istikrarını sürdürmüş, ancak Avrupa'da TOFA arzı, daha düşük üretim seviyeleri ve artan talep nedeniyle sıkışık hale gelmiştir. Terebentin üretimi 2020 yılında 325 bin ton olup, %40'ı çam terebentini ve %60'ı CST olmuştur. CST ve çam terebentin üretimi, bir önceki yıla göre 10 bin ton azalarak sırasıyla 195 bin ve 130 bin tona düşmüşlerdir. Bununla birlikte, terebentine olan genel talep istikrarlı bir seviyede kalmıştır. Ancak, dezenfektan üretiminde kullanmak için yüksek talepten dolayı terebentin stokları azalmış ve arz sıkıntısı yaşanmıştır. 2019 yılında 1 milyon 270 bin ton olan kolofan üretimi, 2020 yılında 1 milyon 150 bin tona gerilemiştir. Çam kolofanı üretimi, dünya üzerinde ağırlıklı olarak Covid-19'un en fazla etkilediği Çin'de gerilemiştir. Daha düşük oranlarda çalışan fraksiyonlama tesisleri nedeniyle TOR üretiminde kayda değer düşüşler yaşanmıştır. Hidrokarbon reçineleri doğal çam reçinesi karşısında rekabetçi fiyatlara sahip olmaya başlamıştır (Baumassy, 2020).

Çam terebentin üretimi, Covid-19'un etkisinin görülmeye devam ettiği 2021 yılında 5 bin ton azalarak 125 bin tona gerilemiştir. Çam terebentini üretiminde, 2019 yılına kıyasla Çin'in üretimdeki payı %3 azalarak %53'e ve Brezilya'nın üretim oranı %1 azalarak %21'e düşerken, Endonezya'nın üretimi %9'a ve diğer ülkelerin üretim oranı ise %3 artarak %17'ye yükselmiştir. CST üretimi ise, 10 bin ton artarak 2019 yılında olduğu gibi tekrar 205 bin tona yükselirken, üretimin %59'unu Kuzey Amerika ülkeleri, %33'ünü Avrupa ülkeleri ve Rusya ve %8'ini ise dünyanın diğer ülkeleri gerçekleştirmiştir. 2021 yılında, dünyanın CST fraksiyonlama kapasitesi 255 bin ton iken, bu fraksiyonlama kapasitesinin 205 bin tonu kullanılmıştır. Önceki yıllarda olduğu gibi, terebentine olan talebin %30'unu reçine endüstrisi ve %70'ini ise koku, temizlik, yiyecek ve kozmetik sanayi gibi sektörler oluşturmaya devam etmiştir. 2021 yılında, dünya üzerinde toplam 2 milyon ton CTO üretilmiş olup, üretimin %49'unu Kuzey Amerika ülkeleri, %42'sini Avrupa ve Rusya ve %9'unu dünyanın diğer ülkeleri gerçekleştirmiştir. CTO'nun biyoyakıtlarda kullanım talebi %16, fraksiyonlamada kullanım talebi %75 ve diğer kullanım alanlarındaki talep ise %9 olmuştur. Dünyanın 1.8 milyon ton olan CTO fraksiyonlama kapasitesinin 1.5 milyon tonu kullanılmıştır. Dünya üzerinde, ABD'de 700 bin ton kapasiteli 5 fabrika, Avrupa'da 800 bin ton kapasiteli 6 fabrika, Rusya'da 160 bin ton kapasiteli 4 fabrika, Çin, Japonya ve Yeni Zelanda'da 140 bin ton kapasiteli fabrikalar ve Japonya'da ise 1 fabrika bulunmaktadır. 2021 yılında TOFA üretimi, 2019 yılında olduğu gibi tekrar 460 bin tona yükselmiştir. Kolofan üretimi ise 10 bin ton artarak 1 milyon 160 bin tona yükselmiştir. Kolofanın %39,5'i

TOR'dan, %59,5'i çam kolofanından ve %1'i ekstraksiyon kolofanından elde edilmiştir. 2021 yılında dünya üzerinde 460 bin TOR üretilmiştir. TOR üretiminde ABD %46'ya gerilemesine rağmen birinci sırada yer alırken, İsveç üretim oranını %2 artırarak %18 ile ikinci sırada yer almış ve onları sırasıyla %16 ile Finlandiya, %6 ile Rusya, % 5 ile Fransa, %4 ile Japonya, %4 ile Avusturya ve Çin ve %1 ile Yeni Zelanda takip etmiştir. Dünya çapında 2019 yılından bu yana 110 bin ton düşüşle 2021 yılında 690 bin ton çam kolofanı üretimi gerçekleştirilmiştir. 2021 yılında dünya üzerinde toplam 3 milyon 150 bin ton reçine üretilmiştir. Üretilen reçinelerin %60'ını hidrokarbon reçineleri, %37'sini kolofan ve %3'ünü terpen reçineleri oluşturmuştur. Üretim miktarından da anlaşılacağı üzere petrol bazlı hidrokarbon reçinelerinin pazar payı büyümeye devam etmiştir. Hidrokarbon reçinelerine en fazla talep Asya bölgesinde olmuştur. Buna karşın, doğal reçinelere olan yüksek talep 2021 yılında da devam etmiştir (Baumassy, 2021).

2022 yılında tall yağı endüstrisi konteyner eksikliği, limanlardaki sıkışıklıklar, liman terminallerinin kapanması ve kamyon şoförlerinin eksikliği gibi lojistik problemlerle karşı karşıya kalmıştır. Ayrıca, Covid-19'un halen ağırlıklı olarak Asya ekonomisini etkilmesi de tall yağı endüstrisinin karşılaştığı diğer bir problem olmuştur. Fraksiyonlama tesislerinin tam kapasite çalışmaması, biyoyakıt üreticileri arasında artan rekabet, Rusya-Ukrayna savaşının neden olduğu yüksek enerji fiyatları, Rusya'nın Avrupaya CTO ve İskandinav kâğıt hamuru fabrikalarına odun ihracatını durdurması 2022 yılında CTO arzının azalmasına neden olmuştur. Küresel ekonominin yavaşlaması, yüksek enflasyon ve enerji maliyetleri Avrupa'da TOFA ve TOR için talepleri etkilemiştir. 2022 yılında dünya çapında toplam 210 bin ton CST üretilmiş olup, üretimin %58'ini Kuzey Amerika ülkeleri, %35'ini Avrupa ve Rusya ve %7'sini diğer ülkeler gerçekleştirmiştir. Çam terebentini üretimi 150 bin ton olmuştur. Çam terebentini üretiminin %50'si Çin'de, %18'i Brezilya'da, %11'i Endonezya'da ve %21'i ise diğer ülkelerde yapılmıştır. CTO üretimi ise 2 milyon tondan biraz fazla olmuştur. CTO üretimine Kuzey Amerika ülkeleri 1 milyon ton, Avrupa 680 bin ton, Rusya 170 bin ton ve diğer ülkeler 200 bin ton katkı sağlamıştır. Geçmiş yıllara göre 2022 yılında biyoyakıtlar için CTO'ya olan talep artmıştır. CTO üretiminin önümüzdeki yıllarda 2,2 milyon tona yükseleceği, bu yükselmeye rağmen CTO arzının kısıtlı olacağı ve fraksiyonlayıcılar ile biyoyakıt üreticileri arasında daha sert bir rekabete yol açacağı belirtilmiştir. 2023 yılı için CTO'nun %65 oranında fraksiyonlamada, %28 oranında biyoyakıtlarda ve %7 oranında diğer sektörlerde talep göreceği öngörülmektedir. Ham petrolün varil fiyatında yaşanan artışlardan dolayı biyoyakıt olarak tall yağı katranına (Talloil Pitch) yüksek talep olmuştur. 2022 yılında dünya çapında TOFA üretimi 10 bin ton azalarak 450 bin tona gerilemiştir. Buna karşın, biyoyakıtlar ve hidrojenize bitkisel yağlar için TOFA talebi artmıştır. TOR üretimi ise 10 bin ton azalarak 2022 yılında dünya çapında 450 bin tona düşmüştür. Çam kolofan üretiminde 60 bin ton artış olmuş ve küresel çapta 750 bin ton üretilmiştir. Avrupa'da mürekkep sanayi için 90 bin tonluk kolofan pazarının %53'ünü ofset baskı, %20'sini flekso baskı, %10'unu gravür, %10'unu dijital, %7'sini ise serigrafi, tipo baskı ve diğerleri oluşturmaktadır. Kolofanın, Avrupa'da yol işaretleri pazarındaki payı, sürdürülebilirlik nedeniyle hidrokarbon reçinelerine kıyasla %60'tan fazladır ve pazar büyümesi yılda yaklaşık %2 civarındadır. Kolofan türevleri, Avrupa'da yapıştırıcı alanında, ağırlıklı olarak yılda %4 ila % 5 büyüyen dinamik pazarlar olan ambalajlama, basınca duyarlı yapışkan etiketler (PSA etiketleri) ve inşaatta kullanılmakta olup, kolofan türevlerinin bu segmentlerde pazar payı yaklaşık %60'tır (Baumassy, 2022). Dünyada 2017-2022 yılları arasında reçine üretim miktarları değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Küresel reçine üretiminin Covid-19 öncesi ve sonrası değişimi

Covid-19 salgını Türkiye’de, OGM’nin Türkiye’nin reçine üretiminde dışa olan bağımlılığını azaltmak ve ormanlardaki reçine potansiyelini üretime kazandırmak amacıyla 2017-2021 yılları arasında uygulamaya koyduğu Reçine Eylem Planı döneminde yaşanmıştır. Reçine Eylem Planı takviminde, 2017 yılında 30 ton, 2018 yılında 175 ton, 2019 yılında 275 ton, 2020 yılında 900 ton ve 2021 yılında 1530 ton ham reçine üretim ve satışı planlanmıştır. Ham reçine üretiminin birinci yılında 43 ton, ikinci yılında 175 ton, üçüncü yılında 290 ton, dördüncü yılında yani Covid-19’un etkisinin yoğun olduğu yıl 928 ton ve son yıl 1558 ton ham reçine üretim ve satışı gerçekleştirilmiştir. 2022 yılında yani Covid-19’dan bir sonraki yıl 1750 ton ham reçine üretim ve satışı planlanırken, üretim sezonu sonunda 2283 ton ile hedeflenenin üzerinde üretim ve satış gerçekleştirilmiştir (Müdürlüğü, 2018; 2019; 2020; 2021; 2022; 2023). OGM istatistiklerinden de anlaşılacağı üzere, Covid-19 salgını Türkiye’de ham reçine üretiminde planlamaları ve hedefleri etkilememiştir. Buna karşın, Türkiye dünyada ilk Covid-19 vakasının görüldüğü 2019 yılında 2.74 milyon dolar değerinde terebentin ihraç ederken, vakaların tüm dünyaya yayıldığı bir sonraki yıl 618 bin dolar ve 2021 yılında ise 1.21 milyon dolar değerinde ihracat yapmasına rağmen ihracatta üç yılda 1.53 milyon dolar (%55,7 düşüş) değerinde düşüş yaşamıştır. Terebentin ithalat değerleri ise, 2019 yılında 753 bin dolar, 2020 yılında 916 bin dolar ve 2021 yılında 921 bin dolar olmuştur. Çam, ekstrakt ve sülfat terebentini ihracatı 2019 yılında 2.52 milyon dolar, 2020 yılında 510 bin dolar ve 2021 yılında 1.06 milyon dolar değerinde gerçekleşmiştir. Çam, ekstrakt ve sülfat terebentini ithalatı 2019 yılında 359 bin dolar, 2020 yılında 179 bin dolar ve 2021 yılında 450 bin dolar değerinde iken, ithalat değerinde üç yılda 91.600 bin dolar değerinde artış olmuştur. Türkiye 2019 yılında 891 bin dolar, 2020 yılında 642 bin dolar ve 2021 yılında 677 bin dolar tall yağı ihracatı, 2019 yılında 1.34 milyon dolar, 2020 yılında 1.5 milyon dolar ve 2021 yılında 2.87 milyon dolar değerinde tall yağı ithal etmiştir. Kolofan ihracatı ise 2019 yılında 4.38 milyon dolar, 2020 yılında 4.96 milyon dolar ve 2021 yılında 5.23 milyon dolar değerinde gerçekleştirilirken, ithalat ise 2019 yılında 40.5 milyon dolar, 2020 yılında 40 milyon dolar ve 2021 yılında 57.8 milyon dolar değerinde gerçekleşmiştir (OEC-a; b; c; d). Ekonomik verilerden de anlaşılacağı üzere, Covid-19 salgını çam reçinesi türevleri sektöründe tüm dünyayı etkilediği gibi Türkiye’yi de etkilemiştir. Türkiye’nin çam reçinesi üretim miktarları göz önüne alındığında, özellikle Covid-19’un etkili olduğu yıllarda ihracat oranında sürekli düşüşün ve ithalat oranlarında sürekli artışın olduğu ve bu durumun ekonomiyi olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir.

7. Reçinenin Kullanım Alanları

Biyokütlenin farklı bileşenlerinden birçok bileşik türü üretilebilir, örneğin, karbonhidrat fraksiyonundan etanol veya biyokütlerdeki lipit bileşenlerinden biyodizel. Kozalaklı ağaçlardan gelen lignin ve oleoresin salgılanması dâhil olmak üzere diğer biyokütle bileşenleri de yenilenebilir kimyasallar kaynağı olarak kullanılmaktadır. Örneğin, orman ürünleri kimyası endüstrisinde önde gelen ürünlerden biri olan çam

oleoresini, kâğıt, sabun, mürekkep, gıda, ilaç, böcek ilacı, baharat ve biyoyakıt üretiminde 400'den fazla kullanıma sahiptir (Harman-Ware vd., 2016; Lai vd., 2020).

İzopren birimlerinden doğal olarak oluşan terpenoidler, çam oleoresininin ana bileşenleridir. Çam oleoresininde bulunan ana terpenoidler olan monoterpenler (C₁₀), sesquiterpenler (C₁₅) ve diterpenoid reçine asitleri (C₂₀) birçok endüstriyel uygulamaya sahip kimyasal madde kaynağıdır. Örneğin, α -pinen ve limonen doğal insektisitler olarak kabul edilir. Bununla birlikte, antibakteriyel özelliklere sahip olan pimarik tip asitler (pimarik asit, sandarakopimarik asit ve izopimarik asit) önemli bir farmasötik rol oynar, çünkü pimarik tip asitler anti-inflamatuar ve antikanser ajanları hazırlamak için kullanılabilir. Terebentin monoterpenlerden oluşur ve aroma ve koku endüstrisinde kullanılmaktadır. Terpenoid bileşiklerin diğer kullanım alanlarının bazıları farmasötik, kozmetik ve polimer endüstrileridir. β -pinen ve farnesen gibi monoterpenler ve sesquiterpenler de petrole potansiyel yenilenebilir biyoyakıt alternatifleri olarak geliştirilmektedir (Harman-Ware vd., 2016; Lai vd., 2020).

Doğal polimerlerin sürekli ve kontrollü ilaç salım sistemlerinde kullanılması bir araştırma alanı olmaya devam etmektedir. İlaç salım sistemlerinde kullanımı araştırılan polimerlerden biri de berrak ve yarı saydam termoplastik bir katı olan kolofandır. Çin tıbbında kolofan ve terebentin yüzyıllardır romatizma, eklem sertliği, çıban ve yaraların tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca, kolofan saçkıran, kronik bronşit ve nörojenik dermatit tedavisinde kullanılırken kolofanın ana bileşenlerinden olan dehidroabietik asidin türevlerinin anti-tümör bileşikler olarak kullanıldığı rapor edilmiştir. Kolofan ve türevleri farmasötik alanda mikrokapsülleyici malzemeler, matris ajanı, film oluşturan malzemeler, transdermal ilaç salımı, yarı katı hazırlama ve tat maskeleyici olarak değerlendirilmiştir. Örneğin, Tat Maskeleyici Kolofan – 134 akrilik asidin çapraz bağlayıcı polimerinden oluşturulmuştur ve K⁺ iyonik bir forma sahiptir. Bu tat maskeleyici, ilaç ile kompleks oluşturur ve acı tadı gizler. Oluşan bu kompleks tükürük pH'ında değil midenin asidik pH'ında ayrışır (Chavda vd., 2012).

Bununla birlikte, reçine ve kolofan gibi türevleri mikrokapsülasyon, fungusit, herbisit, ahşap koruma, kâğıt endüstrisi, biyoyakıt, nanomateryal, yeşil kimyasallar vb. alanlarda kullanılmaktadır. Kolofanın bitki fungusitlerindeki etkisini iyileştirmek için, doğal kolofandan dört seri dehidroabietil-1,3,4-tiadiazol türevi sentezlenmiştir. Tiyofen heterosiklikleri içeren reçine bazlı 1,3,4-tiadiazol bileşiklerinin *in vitro* antifungal aktiviteleri, salatalıkta hastalığa yol açan *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, *Botrytis cinerea* Pers., *Fusarium oxysporum* Schlecht. emend. Snyder & Hansen ve *Magnaporthe oryzae* (T.T. Hebert) M.E. Barr türlerinde test edilmiştir. Özellikle 3e [dehidroabietyl-(1,3,4-thiadiazol-2-yl)-5-nitrothiophene-2-carboxamide] olarak isimlendirilen bileşiğin *F. oxysporum*'a karşı mükemmel antifungal özellik sergilediği tespit edilmiştir. *In vivo* antifungal aktivite sonuçları da, 3e'nin salatalık bitkileri üzerinde koruyucu bir etki yaptığını göstermiştir (Mao vd., 2021). Çelikle güçlendirilmiş betonun korunmasında kullanılan Sodyum Nitrit (NaNO₂) korozyon inhibitörlerinin performansını iyileştirmek için kolofan kullanılarak yağ içerisinde su (S/Y/S) emülsiyonu yolu ile yeni bir mikrokapsül geliştirilmiştir. Mikrokapsülün serbest bırakma performansı, önerilen yaklaşımın çelik takviyelerin korunması için çeşitli inhibitörleri kapsüllemek amacıyla kullanılabileceğini göstermiştir (Ress vd., 2020). İlaç dağıtım oranını kontrol etmeyi, aktivite süresini sürdürmeyi ve ilacın bir dokuya dağıtımını hedeflemeyi amaçlayan kontrollü salımlı ilaç dağıtım sistemleri (CRDDS) için uygunluğunu test etmek amacıyla reçine kaplı indometazin mikrokapsülleri hazırlanmıştır. Bir emülsifikasyon-çözücü buharlaştırma yöntemiyle hazırlanan mikrokapsüller araştırılmıştır. Reçine kaplı indometazin mikrokapsülleri, iyi kontrollü salım özellikleri sergilemiş ve günde bir kez oral kontrollü salım ürünleri için uygun bulunmuştur (Chowdary vd., 2011). Yine aynı yöntemle doza bağımlı yan etkileri azaltmak ve hasta uyumunu iyileştirmek için kolofan reçinesi kullanarak doğal biyolojik olarak parçalanabilen zidovudin mikrokapsülleri (AZT) geliştirilmiştir. Reçine kaplı mikrokapsüller, iyi kontrollü salım özellikleri sergilemiş ve günde bir kez oral kontrollü salım ürünleri için uygun oldukları bulunmuştur (Panda vd., 2013).

Üre-formaldehit (UF) reçinelerinin modifikasyonu için iki farklı yüzey aktif madde (Tween 40 ve Gum Arabic) kullanılarak ara yüzey polimerizasyonu ile polimerik 4-4 difenil metan diizosiyanatın (MpMDI) mikrokapsüllerini hazırlamak için bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar ve istatistiksel analiz, UF reçinelerine %1 TW-MpMDI ilavesinin kontrplak için iyi yapışma ve düşük formaldehit emisyonu arasında uygun bir denge sağladığını ortaya koymuştur (Lubis vd., 2020). Halloysit kil nanotüplerin (HNTs) aseton karışımları ve kimyasal olarak değiştirilmiş bir kolofan kullanarak suya doymuş arkeolojik ağaçların sağlamlaştırılması için yenilikçi bir yöntem tasarlanmıştır. Yapılan testlerden elde edilen bilgiler, ahşap sanat eserlerinin uzun vadeli korunması için HNT/Kolofan nanokompozitlerinin yeşil bir yöntem geliştirmenin temel adımını oluşturduğunu kanıtlamıştır (Cavallaro vd., 2017). Ambalaj kartonlarının dış ve iç yüzeyinde kullanılan test liner kâğıtlarının üretiminde kolofanın kâğıt özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, yüzey tutkallama da doğal reçinenin fiziksel özellikleri ve suya karşı direnci artırırken, optik özellikleri düşürdüğü bulunmuştur. İç tutkallama da ise ticari reçinenin optik ve fiziksel özellikleri iyileştirirken, suya karşı direnç özellikleri açısından oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir (Çiçekler vd., 2018). Akciğer ödemeine neden olan trimellitik anhidrit (poliamid-imid plastik) bazlı kütleme ajanı imid-diasit yerine kolofan bazlı sentezlenmiş iki imid-diasit epoksi kütleme ajanları olarak incelenmiştir. Sonuçlar, kütleme ajanları olarak kullanılan kolofan bazlı imid-diasitlerin, trimellitik anhidritten türetilen imid-diasite göre önemli ölçüde daha yüksek camsı geçiş sıcaklığı, çekme ve dinamik mekanik özellikler sağladığını göstermiştir. Kolofan asitlerinin, epoksi kütleme ajanlarının sentezinde mevcut bazı petrol bazlı bileşiklerin yerini alma konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu değerlendirilmiştir (Mahendra, 2019).

8. Sonuç ve Öneriler

Dikili ağaçlardan çeşitli yöntemlerle elde edilen saf reçine, yoğun, yapışkan ve genellikle akışkan özellik gösteren bir üründür ve opak, süt beyazı renktedir. Ağaçlardan elde edildiği için çeşitli orman kalıntıları içerebilir. Literatürde, reçine ile ilgili rosin (kolofan), oleoresin ve resin olmak üzere üç farklı terim bulunmaktadır. Kolofan bazı kaynaklarda resin olarak da adlandırıldığı için rosin ve resin aynı anlama gelmektedir. Oleoresin ise, uçucu ve uçucu olmayan mono-, sesqui- ve diterpen reçine asitlerinin karışımıdır. İğne yapraklı ağaçlardan elde edilen oleoresin ve türevlerinin kullanımı, Hz. Nuh'un inşa ettiği gemiyi su geçirmez hale getirmek için Lübnan sedirinden elde ettiği zifti kullandığı çok eski tarihe kadar dayanmaktadır. Dikili ağaçlardan oleoresin elde etmek için dünya üzerinde, geleneksel olarak Çin yöntemi, Amerikan yöntemi, Hugues ya da Fransız yöntemi ve Mazek ya da Rill yöntemleri birlikte oyma delik veya Eurogem olarak da bilinen kapalı yara yöntemi de kullanılmaktadır. Orman ürünleri kimyası endüstrisinde önde gelen ürünlerden biri olan çam oleoresini ve türevleri, sabun, mürekkep, gıda, ilaç, baharat üretiminde, mikrokapsülasyon, fungusit, herbisit, ahşap koruma, kâğıt endüstrisi, biyoyakıt, nanomateryal, yeşil kimyasallar vb. birçok alanda kullanıma sahiptir. Dünya üzerinde, reçine üretiminde iğne yapraklı ağaçlar dışında *C. ladanifer*, *F. gummosa*, *F. assa-foetida*, *C. luzonicum*, *D. alatus*, *S. officinalis*, *B. serrata*, *M. balsamum*, *P. atlantica* vd. odun ve odun dışı bitkilerin de öne çıktığı görülmektedir.

Dünyada yaklaşık yüz çam türünden reçine üretilmekle birlikte, günümüzde üretimin %90'ı *P. massoniana*, *P. yunanensis*, *P. elliottii*, *P. caribaea* Morelet ve *P. merkusii* türlerinden yapılmaktadır. Küresel çapta üretilen reçinenin yaklaşık % 68'inin oleoresin, yaklaşık %31'inin sülfat reçinesi ve diğer kısmının ise ekstraksiyon reçinesi olduğu tahmin edilmektedir. Dünya genelinde üretimin %90'ı Çin, Brezilya ve Endonezya tarafından yapılmaktadır. Covid-19 birçok alanda olumsuz etki oluşturduğu gibi reçine üretimi üzerinde de olumsuz bir etki oluşturmuştur. 2019 yılında 1.270,000 ton olan kolofan üretimi 2020 yılında 1.150,000 tona, 2019 yılında 345,000 ton olan terebentin üretimi 2020 yılında 325,000 tona ve TOFA üretimi, 2019 yılında 460,000 ton iken 2020 yılında 410,000 tona gerilemiştir. Covid-19'un olumsuz etkisine rağmen 2020 yılında dezenfektan üretiminde kullanmak için terebentine olan talep artmıştır.

Sonuç olarak, kullanımı çok eski tarihlere dayanan saf reçine, dikili ağaçlardan çeşitli yaralama yöntemleriyle elde edilmekte olup yoğun, yapışkan ve genellikle akışkan özellik gösteren bir üründür ve

opak, süt beyazı renktedir. Küresel çapta, geleneksel olarak çam oleoresini elde etmede Çin yöntemi, Amerikan yöntemi, Hugues ya da Fransız yöntemi, Mazek ya da Rill yöntemleriyle birlikte oyma delik veya Eurogem olarak adlandırılan yöntem de kullanılmaktadır. Oleoresin ve türevlerinin birçok kullanım alanı göz önüne alındığında, verim ve kaliteyi artıracak yeni oleoresin elde etme yöntemleri geliştirilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, çam ağaçları dışında reçine üreten diğer odun ve odun dışı bitki reçinelerinin mikrokapsülasyon, biyoyakıt, mürekkep, nanomateryal vb. alanlarda kullanımının araştırılması önerilmektedir.

Yazar Katkıları

A.İ., A.Y ve C.B.S derleme makaleyi tasarlayıp yazmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Abdel-raouf, M. E., and Abdul-raheim, A. M. (2018). Rosin: Chemistry, derivatives, and applications: A review. *BAOJ Chem. Manar*, 4(1), 1-16.
- Acar, İ., Gül, G. S., ve Örtel, E. (1996). Türkiye’de Kızıлчаam Ormanlarından Akma Reçine Üretiminde Asit Pasta Tahrik Tekniğinin Uygulanması Esasları Üzerine Araştırmalar. *Ege Or. Ar. En. Müd. Teknik Bülten*, 5.
- Aloui, F., Baraket, M., Jedidi, S., Hmadi, B., SALEM, E. B., Jdidi, N., ... and Abbes, C. (2022). Assessment Of Biological Activities Of Resin Extracted From Tunisian Pine Forests. *Pak. J. Bot*, 54(2), 695-700.
- Angın, N. (2020). *Çam kökü ekstraksiyon reçinesinin distilasyonu ve kimyasal karakterizasyonu* (Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi).
- Aslam, M. S., Ahmad, M. S., and Mamat, A. S. (2015). A phytochemical, ethnomedicinal and pharmacological review of genus *Dipterocarpus*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(4), 27-38.
- Ayars, G. H., Altman, L. C., Frazier, C. E., and Chi, E. Y. (1989). The toxicity of constituents of cedar and pine woods to pulmonary epithelium. *Journal of allergy and clinical immunology*, 83(3), 610-618.
- Aydın, İ. (2017). Türkiye’de kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ve Sahil çamı (*Pinus pinaster* Ait.)’ndan asit-pasta ve oyma delik yöntemleriyle reçine üretimi ve terebentin analizi (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi).
- Barat, A. G., and Faravani, M. (2014). Effects of different cutting methods and times of cutting on growth performance and gum resin production of *Ferula assa-foetida*. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 59(1), 35-44.
- Barrero, A. F., Herrador, M. M., Arteaga, J. F., Aksira, M., Mellouki, F., Belgarrabe, A., and Blázquez, M. A. (2005). Chemical composition of the essential oils of *Pistacia atlantica* Desf. *Journal of Essential Oil Research*, 17(1), 52-54.
- Batur, M., Kiracıoğlu, Ö., & Akkaya, M. (2008). Asit pasta metodu ile reçine üretiminin hacim artımı ve ürün çeşitleri dağılımına etkisi. TC Çevre ve Orman Bakanlığı Ege Orman Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten, 37, 1-26.
- Baumassy, M. (2017, September 17-19). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In Proceedings of the 2017 PCA International Conference, Montreal, Canada. https://www.pinechemicals.org/resource/collection/B5C970B1-F4BA-4024-B730-6CC033C3DDBC/2017_International_Conference_Presentations_-_Montreal.zip
- Baumassy, M. (2018, September 16-18). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In Proceedings of the 2018 PCA International Conference, Lisbon, Portugal. https://www.pinechemicals.org/resource/collection/5B503914-46E0-4E23-ADB2-9670CB61F255/2018_International_Conference_Presentations.zip
- Baumassy, M. (2019, September). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In Proceedings of

- the 2019 PCA International Conference, Vancouver, BC, Canada (pp. 22-24). https://www.pinechemicals.org/resource/collection/0C07AC4F-5AD1-4C77-AD3A-300CE1BC61C3/2019_International_Conference_Presentations.zip
- Baumassy, M. (2020, October). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In *Proceedings of the 2020 PCA International Virtual Conference, Manual* (pp. 37-44). https://www.pinechemicals.org/resource/collection/1B5A7D1C-2E5D-4737-AA3F-6409511131CF/2020_International_Virtual_Conference.zip
- Baumassy, M. (2021, April 13-14). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In *Interregional workshop on innovative bio-based resin derivatives, Online event*. https://www.incredibleforest.net/sites/default/files/u191/s1_3_baumassy.pdf
- Baumassy, M. (2022, September 25-27). Pine Chemicals Industry Global Overview and Trends. In *Proceedings of the 2022 PCA International Conference, Denver, USA*. https://www.pinechemicals.org/resource/resmgr/2022ic/presentations/Michel_Baumassy_2022.0_8.30_P.pdf
- Cannac, M., Barboni, T., Ferrat, L., Bighelli, A., Castola, V., Costa, J., ... and Pasqualini, V. (2009). Oleoresin flow and chemical composition of Corsican pine (*Pinus nigra* subsp. *laricio*) in response to prescribed burnings. *Forest Ecology and Management*, 257(4), 1247-1254.
- Cavallaro, G., Lazzara, G., Milioto, S., Parisi, F., and Ruisi, F. (2017). Nanocomposites based on esterified colophony and halloysite clay nanotubes as consolidants for waterlogged archaeological woods. *Cellulose*, 24(8), 3367-3376.
- Chavda, V. P., Soniwala, M. M., and Chavda, J. R. (2012). Role of rosin in controlled and targeted drug delivery. *Crit Rev Pharm Sci.*, 1(2), 15-20.
- Chen, F., Al-Ahmad, H., Joyce, B., Zhao, N., Köllner, T. G., Degenhardt, J., and Stewart Jr, C. N. (2009). Within-plant distribution and emission of sesquiterpenes from *Copaifera officinalis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(11-12), 1017-1023.
- Chowdary, K. P. R., Mohapatra, P., and Pattanayak, P. (2011). Controlled release of Microencapsulated Indomethacin by colophony resin. *Science & Technology Asia*, 66-70.
- Coppen, J. J. (1995). *Gum naval stores: turpentine and rosin from pine resin* (No. 634.98 F3 v. 2). FAO.
- Cunningham, A. (2012). Pine resin tapping techniques used around the world. *Pine resin: biology, chemistry and applications*, 1-8.
- Çiçekler, M., Kılılı, U., Tutuş, A., ve Çiçekler, M. (2018). Ambalaj Kartonların Üretiminde Doğal Kolofan Kullanımının Araştırılması. In *4th International Non-wood Forest Products Symposium* (pp. 250-257).
- Darrow, W. K. (1983). Pine oleoresin: A Minor Forest Product of Major Importance?. *South African Forestry Journal*, 125(1), 97-99.
- da Silva Rodrigues-Corrêa, K. C., de Lima, J. C., and Fett-Neto, A. G. (2013). Oleoresins from pine: production and industrial uses. *Natural products. Berlin: Springer*, 4037-4060.
- DeCarlo, A., Johnson, S., Poudel, A., Satyal, P., Bangerter, L., and Setzer, W. N. (2018). Chemical Variation in Essential Oils from the Oleo-gum Resin of *Boswellia carteri*: A Preliminary Investigation. *Chemistry & biodiversity*, 15(6), e1800047.
- Dell, B., and McComb, A. J. (1979). Plant resins—their formation, secretion and possible functions. In *Advances in botanical research* (Vol. 6, pp. 277-316). Academic Press.
- Deniz, İ. (2002). Dikili ağaçlarda reçinenin biyosentezi ve reçine üretimi. *Gazi Üniversitesi Kastamonu Eğitim Dergisi*, 10(2), 375-386.
- Deniz, İ., Pekgözlü, A., Dönmez, İ. E., Karaoğul, E., Yılmaz, B., Ceylan, E., ve Aydın, İ. (2019). Ülkemizde üretilen kolofanların kimyasal özellikleri, I. Kolofan ve Türevleri Çalışmayı, 2, 16.
- de Oliveira Junkes, C. F., Duz, J. V. V., Kerber, M. R., Wieczorek, J., Galvan, J. L., Fett, J. P., and Fett-Neto, A. G. (2019). Resinosis of young slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.) as a tool for resin stimulant paste development and high yield individual selection. *Industrial Crops and Products*, 135, 179-187.
- Fernández, C. G. (2004). Benzoin, a resin produced by *Styrax* trees in North Sumatra Province, Indonesia. *Forest products, livelihoods and conservation: case studies of non-timber forest product systems*, 1, 148.
- Frazão, D. F., Martins-Gomes, C., Steck, J. L., Keller, J., Delgado, F., Gonçalves, J. C., ... & Silva, A. M. (2022). Labdanum resin from *Cistus ladanifer* L.: a natural and sustainable ingredient for skin care

- cosmetics with relevant cosmeceutical bioactivities. *Plants*, 11(11), 1477.
- Gören, A. C., Bilsel, G., Öztürk, A. H., ve Topçu, G. (2010). Chemical composition of natural colophony from *Pinus brutia* and comparison with synthetic colophony. *Natural Product Communications*, 5(11), 1934578X1000501105.
- Gurau, V., Ragland, B., Cox, D., Michaud, A., and Busby, L. (2021). Robot Operations for Pine Tree Resin Collection. *Technologies*, 9(4), 79.
- Harman-Ware, A. E., Sykes, R., Peter, G. F., and Davis, M. (2016). Determination of terpenoid content in pine by organic solvent extraction and fast-GC analysis. *Frontiers in Energy Research*, 4, 2.
- Hernández-Vázquez, L., Mangas, S., Palazón, J., and Navarro-Ocaña, A. (2010). Valuable medicinal plants and resins: Commercial phytochemicals with bioactive properties. *Industrial Crops and Products*, 31(3), 476-480.
- Hodges, A. W., and Johnson, J. D. (1997). Borehole oleoresin production from slash pine. *Southern Journal of Applied Forestry*, 21(3), 108-115.
- Iranshahy, M., and Iranshahi, M. (2011). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of asafoetida (*Ferula assa-foetida* oleo-gum-resin)—A review. *Journal of ethnopharmacology*, 134(1), 1-10.
- Izzo, F. C., Lodi, G. C., and Vázquez de Ágredos Pascual, M. L. (2021). New insights into the composition of historical remedies and pharmaceutical formulations: the identification of natural resins and balsams by gas chromatographic-mass spectrometric investigations. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 13(1), 1-17.
- Jalali, H. T., Petronilho, S., Villaverde, J. J., Coimbra, M. A., Domingues, M. R. M., Ebrahimian, Z. J., ... and Rocha, S. M. (2012). Deeper insight into the monoterpene composition of *Ferula gummosa* oleo-gum-resin from Iran. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 500-507.
- Jiang, Z., Kempinski, C., and Chappell, J. (2016). Extraction and analysis of terpenes/terpenoids. *Current protocols in plant biology*, 1(2), 345-358.
- Joye Jr, N. M., and Lawrence, R. V. (1967). Resin acid composition of pine oleoresins. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 12(2), 279-282.
- Kaliora, A. C., Mylona, A., Chiou, A., Petsios, D. G., and Andrikopoulos, N. K. (2004). Detection and identification of simple phenolics in *Pistacia lentiscus* resin. *Journal of liquid chromatography & related technologies*, 27(2), 289-300.
- Kallis, M., Sideris, K., Kopsahelis, N., Bosnea, L., Kourkoutas, Y., Terpou, A., and Kanellaki, M. (2019). *Pistacia terebinthus* resin as yeast immobilization support for alcoholic fermentation. *Foods*, 8(4), 127.
- Karlberg, A. T., Boman, A., and Wahlberg, J. E. (1980). Allergenic potential of abietic acid, colophony and pine resin-HA: Clinical and experimental studies. *Contact Dermatitis*, 6(7), 481-487.
- Karlberg, A. T. (2000). Colophony. In *Handbook of occupational dermatology* (pp. 509-516). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Karlberg, A. T., and Hagvall, L. (2020). Colophony: Rosin in unmodified and modified form. *Kanerva's occupational dermatology*, 607-624.
- Kavoosi, G., and Rowshan, V. (2013). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil obtained from *Ferula assa-foetida* oleo-gum-resin: effect of collection time. *Food chemistry*, 138(4), 2180-2187.
- Kenan, O. K., ve Mehtap, K. O. Ç. (2018). Türkiye’de odun dışı orman ürünlerinin planlanmasında yöntem ve yaklaşım sorunu. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4), 391-402.
- Lai, M., Zhang, L., Lei, L., Liu, S., Jia, T., and Yi, M. (2020). Inheritance of resin yield and main resin components in *Pinus elliottii* Engelm. at three locations in southern China. *Industrial crops and products*, 144, 112065.
- Langenheim, J. H. (1969). Amber: A Botanical Inquiry: Amber provides an evolutionary framework for interdisciplinary studies of resin-secreting plants. *Science*, 163(3872), 1157-1169.
- Langenheim, J. H. (2003). Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany (No. 620.1924 L275p). Oregon, US: Timber Press.
- Li, Q., Li, J. J., Bao, X. H., Zhang, S. Y., Luo, Q., Li, K. M., ... and Yan, Y. M. (2022). Unusual sesquiterpenes with anti-inflammatory activities from the resin of *Ferula sinkiangensis*. *Bioorganic Chemistry*, 127, 105986.
- Lubis, M. A. R., Park, B. D., and Lee, S. M. (2020). Microencapsulation of polymeric isocyanate for the

- modification of urea-formaldehyde resins. *International journal of adhesion and adhesives*, 100, 102599.
- Mahboubi, M., Sotoudeh Nia, S., Farahani, A., and Ansari, V. (2022). Chemical Composition of Ferula galbaniflua Essential Oils from Different Geographical Regions of Iran. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 92(2), 341-349.
- Mahendra, V. (2019). Rosin product review. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 890, pp. 77-91). Trans Tech Publications Ltd.
- Mao, S., Wu, C., Gao, Y., Hao, J., He, X., Tao, P., ... and Song, J. (2021). Pine rosin as a valuable natural resource in the synthesis of fungicide candidates for controlling Fusarium oxysporum on cucumber. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(23), 6475-6484.
- Moghadam, F. H., Dehghan, M., Zarepur, E., Dehlavi, R., Ghasemina, F., Ehsani, S., ... and Barzegar, K. (2014). Oleo gum resin of Ferula assa-foetida L. ameliorates peripheral neuropathy in mice. *Journal of ethnopharmacology*, 154(1), 183-189.
- Mohamed, A. A., Ali, S. I., EL-Baz, F. K., Hegazy, A. K., and Kord, M. A. (2014). Chemical composition of essential oil and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of crude extracts of Commiphora myrrha resin. *Industrial crops and products*, 57, 10-16.
- Müdürlüğü, O. G. (2018). Orman Genel Müdürlüğü 2017 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Müdürlüğü, O. G. (2019). Orman Genel Müdürlüğü 2018 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Müdürlüğü, O. G. (2020). Orman Genel Müdürlüğü 2019 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Müdürlüğü, O. G. (2021). Orman Genel Müdürlüğü 2020 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Müdürlüğü, O. G. (2022). Orman Genel Müdürlüğü 2021 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Müdürlüğü, O. G. (2023). Orman Genel Müdürlüğü 2022 yılı faaliyet raporu. Strateji dairesi başkanlığı, Ankara.
- Neis, F. A., de Costa, F., de Araujo Jr, A. T., Fett, J. P., and Fett-Neto, A. G. (2019). Multiple industrial uses of non-wood pine products. *Industrial Crops and Products*, 130, 248-258.
- OEC-a. <https://oec.world/en/profile/hs/turpentine>
- OEC-b. <https://oec.world/en/profile/hs/gum-wood-or-sulphate-turpentine-oils>
- OEC-c. <https://oec.world/en/profile/hs/tall-oil>
- OEC-d. <https://oec.world/en/profile/hs/rosin>
- Olivares-Pérez, A., Ibarra-Torres, J. C., Ortiz-Gutiérrez, M., Pérez-Cortés, M., and Fuentes-Tapia, I. (2005). Rosin (colophony) holograms sensitized with ammonium dichromate®. *Optical Materials*, 27(12), 1825-1831.
- Olvera-Bautista, I., Olivares-Perez, A., Gomez-Colin, R., and Fuentes-Tapia, I. (2005, April). Thermopolymer holograms. In *Practical Holography XIX: Materials and Applications* (Vol. 5742, pp. 292-297). SPIE.
- Önal, S. (1995). *Bazı uyarıcı maddelerle kızılçam ve karaçamlarda reçine üretimi*. Ormancılık Araştırma Enstitüsü.
- Öz, M. (2007). *Kızılçam (Pinus brutia ten.)'da reçine kelebeği (Dioryctria sylvestrella ratz.) larva galerisi ve gövde reçinesinin uçucu yağ bileşimi* (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi).
- Panda, H. (2008). *Handbook on Oleoresin and Pine Chemicals (Rosin, Terpene Derivatives, Tall Oil, Resin & Dimer Acids): Oleoresin and Pine Chemicals, Oleoresin extraction process, Oleoresin Making Small Business Manufacturing, Oleoresin Processing Industry in India, Oleoresin Processing Projects, Oleoresin Science and technology, Oleoresins from Pine: Production and Industrial Uses, Peroxides from Turpentine, Pine Chemicals and Oleoresins Business, Pine Chemicals Based Profitable Projects, Pine Chemicals Based Small* Asia Pacific Business Press Inc..
- Panda, S., Pattnaik, S., Maharana, L., Botta, G. B., and Mahapatra, A. K. (2013). Design and evaluation of zidovudine loaded natural biodegradable microcapsules employing colophony resin as microencapsulating agent. *Int. J. Phar. Pharm. Sci*, 5, 799-805.

- Payares-Díaz, I. R., Mario-Contreras, O. A., Medrano-Vélez, M. A., and Millán-Romero, E. (2014). Germination and seedling growth of *Myroxylon balsamum* (L.) harms in the department of Sucre. *Revista Colombia Forestal*, 17(2), 193-201.
- Pekgözlü, A. K., ve Ceylan, E. (2021). Sıcaklığın Terebentin Kompozisyonu Üzerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3), 878-884.
- Puente-Villegas, S. M., García, A. R., Rubio, F., Gil, L., and Lopez, R. (2020). Salicylic and citric acid as promising new stimulants for resin tapping in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Systems*, 29(3), eSC07-eSC07.
- Ress, J., Martin, U., Bosch, J., and Bastidas, D. M. (2020). pH-triggered release of NaNO₂ corrosion inhibitors from novel colophony microcapsules in simulated concrete pore solution. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(41), 46686-46700.
- Rodrigues-Corrêa, K. C. D. S., de Lima, J. C., and Fett-Neto, A. G. (2012). Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. *Food and Energy Security*, 1(2), 81-93.
- Satil, F., Selvi, S., and Polat, R. (2011). Ethnic uses of pine resin production from *Pinus brutia* by native people on the Kazdag Mountain (Mt. Ida) in Western Turkey.
- Sell, C. S. (2003). *A fragrant introduction to terpenoid chemistry*. Royal Society of Chemistry.
- Sharma, K. R., and Lekha, C. (2013). Tapping of *Pinus roxburghii* (chir pine) for oleoresin in Himachal Pradesh, India. *Advances in Forestry Letters (AFL)*, 2(3), 53-57.
- Silvestre, A. J., and Gandini, A. (2008). Rosin: major sources, properties and applications. In *Monomers, polymers and composites from renewable resources* (pp. 67-88). Elsevier.
- Sönmez, T., Gencal, B., ve Gencal, B. Bursa Orman Bölge Müdürlüğü Sınırları İçerisinde Potansiyel Reçine Üretim Fonksiyonuna Sahip Alanların Belirlenmesi.
- Upadhyay, M. (2008). Economic analysis of resin tapping. *Wood Science and Technology*, 2(3), 1-22.
- Ursavaş, S. (2002). *Kızılçam (Pinus brutia Arnold) da reçine üretiminin odun kalitesine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi).
- Vardar, Y., and Oflas, S. (1973). Preliminary studies on the *Styrax* oil. *Qualitas Plantarum Et Materiae Vegetabiles*, 22(2), 145-148.
- Vázquez-González, C., Zas, R., Erbilgin, N., Ferrenberg, S., Rozas, V., and Sampedro, L. (2020). Resin ducts as resistance traits in conifers: linking dendrochronology and resin-based defences. *Tree Physiology*, 40(10), 1313-1326.
- Wang, Y., Yuan, X., Mei, H., Li, J., and Wang, J. (2018). Transcriptome and gene expression analysis revealed mechanisms for producing high oleoresin yields from Simao pine (*Pinus kesiya* var. *Iangbianensis*). *Plant Omics*, 11(1), 42-49.
- Waweru, J. G., Njenga, H. N., and Omosa, L. K. (2016). Standardization of *Commiphora abyssinica* Engl. gum resin from Kajiado, Kenya. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 9(8), 69-74.
- Wiyono, B., Tachibana, S., and Tinambunan, D. (2006). Chemical compositions of pine resin, rosin and turpentine oil from west java. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 3(1), 7-17.
- Yadav, B. K., Gidwani, B., and Vyas, A. (2016). Rosin: Recent advances and potential applications in novel drug delivery system. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 31(2), 111-126.
- Zinkel, D. F. (1989). The utilization of wood extractives. *Natural products of woody plants*, 953-1164.

Bartın Orman Fakóltesi Dergisi

Bartın Üniversitesi, Orman Fakóltesi , 74100, Bartın, Türkiye

Journal of Bartın Faculty of Forestry

Bartın University, Faculty of Forestry, 74100, Bartın-Turkey