



ISPARTA
UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN: 2149-3898

TURKISH JOURNAL OF FORESTRY

TÜRKİYE ORMANCILIK DERGİSİ



ISPARTA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Year:
Yıl: 2024

Volume:
Cilt: 25

Issue:
Sayı: 4

TURKISH JOURNAL OF FORESTRY

(TÜRKİYE ORMANCILIK DERGİSİ)

e-ISSN: 2149-3898

A peer-reviewed international journal, published quarterly (March, June, September, December)
by Faculty of Forestry at Isparta University of Applied Sciences.

Yılda dört sayı olarak (Mart, Haziran, Eylül, Aralık) yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi tarafından yayınlanmaktadır.

Year/Yıl: 2024, Volume/Cilt: 25, Issue/Sayı: 4

EDITORIAL BOARD / DERGİ YAYIN KURULU

Editor-in-chief / Baş editör

Ramazan Özçelik Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye

Editors / Editörler

A. Alper Babalık	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Abdullah Emin Akay	Bursa Technical University, Türkiye
Aylin Güney	İzmir Katip Çelebi University
Ayşe Deligöz	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Bart Muys	University of KU Leuven, Belgium
Carlos Gonzalez-Benecke	Oregon State University, USA
Ebubekir Gündoğdu	Bursa Technical University, Türkiye
Ender Makineci	İstanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye
Esra Bayar	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Fernando Castedo-Dorado	University of León, Spain
Hazan Alkan Akıncı	Artvin Çoruh University, Türkiye
İbrahim Özdemir	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
İbrahim Turna	Karadeniz Technical University, Türkiye
İ. Emrah Dönmez	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Kathryn Arano Gazal	West Virginia University, USA
Mehmet Korkmaz	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Mustafa Avcı	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Nicklas Jansson	Linköping University, Sweden
Onur Alkan	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Oytun Emre Sakıcı	Kastamonu University, Türkiye
Serkan Gülsoy	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Stephen Woodward	University of Aberdeen, Scotland (Emeritus)
Şirin Dönmez	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Taner Okan	İstanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye
Tuğba Yılmaz Aydın	Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Uzay Karahalil	Karadeniz Technical University, Türkiye
Yusuf Serengil	İstanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye

Layout editor / Dizgi editörü

Süleyman Uysal Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye

Publisher / Yayıncı kuruluş

Isparta University of Applied Sciences
Faculty of Forestry

Contact / İletişim

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Orman Fakültesi, 32260, Isparta, Türkiye
Phone : +90 246 214 6500
Fax : +90 246 214 6599
Web : <http://dergipark.org.tr/tjf>
E-mail : turkjfor@isparta.edu.tr

TURKISH JOURNAL OF FORESTRY

(TÜRKİYE ORMANCILIK DERGİSİ)

e-ISSN: 2149-3898

A peer-reviewed international journal, published quarterly (March, June, September, December)
by Faculty of Forestry at Isparta University of Applied Sciences.

Yılda dört sayı olarak (Mart, Haziran, Eylül, Aralık) yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir.
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi tarafından yayınlanmaktadır.

Year/Yıl: 2024, Volume/Cilt: 25, Issue/Sayı: 4

Turkish Journal of Forestry is an online, open access, peer-reviewed, international research journal. Language of the journal is English and Turkish. It publishes four issues a year. It covers subject areas related to forest engineering, forest products engineering, wildlife ecology and management and landscape architecture. Authors should only submit original work, which has not been previously published and is not currently considered for publication elsewhere. Research papers will be given priority for publication while only a limited number of review papers are published in a given issue. It is indexed in ULAKBIM TR Index, CAB Abstracts, DOAJ, Zoological Records, Open Academic Journals Index (OAJI), Cite Factor, Index Copernicus and Cosmos Index. Turkish Journal of Forestry is the official journal of Faculty of Forestry, Isparta University of Applied Sciences. It was previously published under the title "Süleyman Demirel University Faculty of Forestry Journal" between 2000 and 2014.

Türkiye Ormancılık Dergisi online ve açık erişimli yayınlanan uluslararası hakemli bir dergidir. Dergi dili İngilizce ve Türkçe'dir ve yılda dört sayı yayınlanmaktadır. Orman mühendisliği, orman endüstri mühendisliği, peyzaj mimarlığı ve yaban hayatı ekolojisi ve yönetimi çalışma konularında bilimsel makaleler yayınlamaktadır. Dergimize gönderilen makalelerin daha önce yayınlanmamış orijinal çalışmalar olması gerekmektedir. Orijinal araştırmaya dayalı çalışmalara öncelik verilmekte, sınırlı sayıda derleme makale yayınlanmaktadır. Dergimiz ULAKBIM TR Dizin, CAB Abstracts, DOAJ, Zoological Records, Open Academic Journals Index (OAJI), Cite Factor, Index Copernicus, Cosmos Index'te taranmaktadır. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesinin resmi yayını olan Türkiye Ormancılık Dergisi, 2000-2014 yılları arasında "Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi" adıyla yayınlanmıştır.

CONTENTS

Review

- Invasive pathogens impacting forest and urban trees in Türkiye
Steve Woodward, Hatice Tuğba Doğmuş Lehtijärvi..... 362-379

Research

- The first record and occurrence of microsporidian pathogen, *Chytridiopsis* cf. *typographi* (Microspora) in *Pityokteines curvidens* (Coleoptera, Curculionidae) populations in Türkiye
Mustafa Yaman, Tuğba Sağlam Güvendik..... 380-382
- Determination of vegetation characteristics and hay yield of Taşoluk natural pasture in Aydın province Karacasu district
Haydar Can Kirazlı, Ahmet Alper Babalık..... 383-389
- Modeling Brutian pine productivity in Aydın - Kuyucak district
Hüseyin Keçelioğlu, Özdemir Şentürk..... 390-398
- Development of regional mixed-effects height–diameter models for natural black pine stands
Onur Alkan, Ramazan Özçelik..... 399-407
- Ecoregion based investigation of diameter distributions for Crimean pine stands in Kastamonu and Sinop regions
Mehmet Seki, Oytun Emre Sakıcı..... 408-422
- Comparison of plant species diversity, site index, and mean tree ring width values of different altitudinal zones in Turkish pine stands
Serkan Özdemir, Oğuzhan Erfidan..... 423-429
- Volume equations for Scots pine trees in Kastamonu region
Dilara Nur Zaiifoğlu, Fadime Sağlam..... 430-436
- Variation of diameter at breast height increment values of single tree by planning period, age class, and social class: Study case of Scots pine stands from Sarıkamış region
Burak Koparan, Onur Alkan, Serdar Carus, Yılmaz Çatal, Ramazan Özçelik..... 437-446
- Dynamic trajectories of land use and land cover changes in Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia
Miftahul Irsyadi Purnama, Hüseyin Oğuz Çoban..... 447-458
- A new approach to the ecotourism potential of Yusufeli district within the framework of AHP-SWOT
İnci Zeynep Yılmaz, Ufuk Demirci..... 459-465
- Surface gloss properties of walnut tannin applied wood species
Şekip Şadiye Yaşar, Alaaddin Uzun, Ahmet Cihangir Yalınkılıç, Mehmet Yaşar..... 466-472
- The diagonal tensile strength of corner joints constructed with different connectors
Halil Karatay, Merve Fatma Akbaş, Mesut Uysal..... 473-482
- Effect of saponin usage on physical, mechanical and fire properties of PP based wood-plastic composites
İlkay Atar..... 483-493
- Elevation variations in volatile components of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.)
Ayşegül Tekeş, Sermin Göksu Karagöz, Oktay Demir, Şükran Oğuzoğlu, Nazlı Öğüt, Münevver Arslan, Serkan Gülsoy..... 494-505
- Examination of wastewater generated in wood drying kilns
Muhammed Enes Tepedelen, Uğur Özkan, Halil Turgut Şahin..... 506-513
- Moisture dependent bending properties of poplar
Tuğba Yılmaz Aydın, Uğur Özkan..... 514-519

- Polymerization and modeling of phenolic resins from crude wood resin in the presence of $AlCl_3$
Merve Genç, Naile Angın, Muhammed Yusuf Aksakal, Murat Ertaş, Ömür Aras520-529
- Investigation of the effects of heat treatment on medium density fiberboard (MDF)
Hikmet Yazıcı, Hüseyin Peker, Murat Özalp530-533
- Eurasian otter-human conflict in Koprulu Canyon National Park
Bedirhan Eker, Yasin Ünal, Ahmet Koca.....534-539
- Tree inventory and ecosystem service assessment using web-based geographic information system (GIS) tools:
 Case study in Edirne
Eylül Malkoç.....540-545

İÇİNDEKİLER

Derleme

- Türkiye’de orman ve kent ağaçlarını etkileyen yabancı istilacı patojenler
Steve Woodward, Hatice Tuğba Doğmuş Lehtijärvi..... 362-379

Araştırma

- Türkiye’de *Pityokteines curvidens* (Coleoptera, Curculionidae) popülasyonlarında microsporidian patojen *Chytridiopsis cf. typographi* (Microspora)’nın varlığı ve ilk kaydı
Mustafa Yaman, Tuğba Sağlam Güvendik..... 380-382
- Farklı yükselti zonlarındaki kızılçam meşcerelerinde bitki türü çeşitliliği, bonitet indeksi ve yıllık halka genişliği değerlerinin karşılaştırılması
Haydar Can Kirazlı, Ahmet Alper Babalık..... 383-389
- Aydın - Kuyucak yöresinde kızılçam verimliliğinin modellenmesi
Hüseyin Keçelioğlu, Özdemir Şentürk..... 390-398
- Doğal karaçam meşcereleri için yöresel karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi
Onur Alkan, Ramazan Özçelik..... 399-407
- Kastamonu ve Sinop bölgesi karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının ekorejyon bazlı incelenmesi
Mehmet Seki, Oytun Emre Sakıcı..... 408-422
- Farklı yükselti zonlarındaki kızılçam meşcerelerinde bitki türü çeşitliliği, bonitet indeksi ve yıllık halka genişliği değerlerinin karşılaştırılması
Serkan Özdemir, Oğuzhan Erfidan..... 423-429
- Kastamonu yöresi sarıçam ağaç türü için ağaç hacim denklemleri
Dilara Nur Zaifoğlu, Fadime Sağlam..... 430-436
- Tek ağaçta göğüs çap artımının periyot süresi, yaş sınıfı ve sosyal sınıfına göre değişimi: Sarıkamış yöresi sarıçam meşcereleri örneği
Burak Koparan, Onur Alkan, Serdar Carus, Yılmaz Çatal, Ramazan Özçelik..... 437-446
- Endonezya'nın Batı Nusa Tenggara Bölgesi'nde bulunan Lombok Adası'ndaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimlerinin dinamik izleri
Miftahul Irsyadi Purnama, Hüseyin Oğuz Çoban..... 447-458
- Yusufeli ilçesi'nin ekoturizm potansiyeline ahp-swot çerçevesinde yeni bir yaklaşım
İnci Zeynep Yılmaz, Ufuk Demirci..... 459-465
- Ceviz taneni uygulanmış ağaç türlerinin yüzey parlaklık özellikleri
Şekip Şadiye Yaşar, Alaaddin Uzun, Ahmet Cihangir Yalınkılıç, Mehmet Yaşar..... 466-472
- Farklı bağlantı elemanları ile üretilmiş köşe birleştirmelerinin diyagonal çekme dayanımı
Halil Karatay, Merve Fatma Akbaş, Mesut Uysal..... 473-482
- Saponin kullanımının PP esaslı odun-plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi
İlkay Atar..... 483-493
- Sarı kantaron (*Hypericum perforatum* L.) uçucu bileşenlerinin yükseltiye bağlı değişimi
Ayşegül Tekeş, Sermin Göksu Karagöz, Oktay Demir, Şükran Oğuzoğlu, Nazlı Öğüt, Münevver Arslan, Serkan Gülsoy..... 494-505
- Ahşap kurutma fırınlarında oluşan atık suların incelenmesi
Muhammed Enes Tepedelen, Uğur Özkan, Halil Turgut Şahin..... 506-513
- Kavak odununun rutubete bağlı eğilme özellikleri
Tuğba Yılmaz Aydın, Uğur Özkan..... 514-519

- Ekstraksiyon reçinesinden (Crude wood resin) $AlCl_3$ eşliğinde fenolik reçinelerin polimerizasyonu ve modellenmesi
Merve Genç, Naile Angın, Muhammed Yusuf Aksakal, Murat Ertaş, Ömür Aras520-529
- Isıl işlemin orta yoğunlukta lif levha (MDF) üzerindeki etkilerinin araştırılması
Hikmet Yazıcı, Hüseyin Peker, Murat Özalp 530-533
- Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru-insan çatışması
Bedirhan Eker, Yasin Ünal, Ahmet Koca.....534-539
- Web tabanlı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçları ile ağaç envanteri oluşturmak ve ekosistem hizmetlerinin ölçülmesi: Edirne örneği
Eylül Malkoç..... 540-545

Invasive pathogens impacting forest and urban trees in Türkiye

Steve Woodward^{a,*} , Hatice Tuğba Doğmuş Lehtijärvi^a 

Abstract: Alien invasive pests and pathogens pose major threats to forest, ornamental and urban trees throughout the world. The history of invasions is reviewed in the context of human migrations in the past, and the importance of modern globalization of trade – in the absence of highly stringent detection and control measures - emphasised as undoubtedly the most important cause of the recent upsurge in incursions of problematic pests and pathogens. Examples of invasive pathogens, including the causes of sweet chestnut canker, Dutch elm disease, dieback of *Cupressus*, *Phytophthora* root rots, boxwood blight, canker stain (wilt) of *Platanus* and *Dothistroma* needle blight of pines are detailed. Measures taken by states and trading blocks to reduce the probabilities of invasions occurring and manage those that have already occurred are discussed, along with approaches that could be utilized to improve the protocols used to address these problems in Türkiye.

Keywords: Alien invasive pathogens, *Cryphonectria parasitica*, *Ophiostoma novo-ulmi*, *Seiridium cardinale*, *Phytophthora*, *Calonectria*, *Ceratocystis platani*, *Dothistroma*

Türkiye’de orman ve kent ağaçlarını etkileyen yabancı istilacı patojenler

Öz: Yabancı istilacı zararlılar ve patojenler, ormanlar, süs bitkileri ve kent ağaçları üzerinde dünya çapında ciddi tehditler oluşturmaktadır. Geçmişte insanların göçleri ile ilişkilendirilen yabancı istilacı türlerin hareketliliği, günümüzde artan ticaret ve küreselleşmenin ve yetersiz tespit ve karantina yöntemlerinin de etkisiyle kontrol edilemez boyutlara ulaşmıştır. Kestane dal kanseri, karaağaç ölümlü hastalığı, servi kanseri, *Phytophthora* kök çürüklüğü, şimşir yanıklığı, çınar kanseri ve çamlarda *Dothistroma* ibre yanıklığına neden olan patojenler ve istilalardaki önemi bu derlemede ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu tür zararlı ve patojen istilaları azaltmak veya hali hazırda bulaşmış olanları daha iyi yönetebilmek adına, ülkeler bazında ve ticaret sektöründe alınan önlemlerin yanı sıra, Türkiye’de bu sorunların üstesinden gelmek için uygulamadaki mevcut protokolleri geliştirmek yolunda mümkün olan yaklaşımlar da tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yabancı istilacı türler, *Cryphonectria parasitica*, *Ophiostoma novo-ulmi*, *Seiridium cardinale*, *Phytophthora*, *Calonectria*, *Ceratocystis platani*, *Dothistroma*

Introduction

It is likely that, since humans first began migrating over long distances, pests and pathogens were inadvertently carried with them on their journeys (Kausarud et al., 2007; Fisher et al., 2012; Santini et al., 2013; Santini et al., 2018; Doggett and Lee, 2023). Plant pests and pathogens probably accompanied humans on these migrations in any plant-based materials carried, including seed, fruit and tubers. With the advent of agriculture, approximately 10,000 years ago (Verhoeven, 2011), both wild-collected and cultivated grains would have been transported as food during journeys and for planting in locations some distance from their origins in Mesopotamia. Pests and pathogens which co-evolved with their natural hosts in regions of origin were, therefore, taken to other regions (Dark and Gent, 2001; Stukenbrock et al., 2008), some thousands of kilometres distant from the centres of evolution, with different climatic conditions and, probably, different potential host plants. These migrations certainly account for much of the widespread distribution of many cereal pests and pathogens we know in the world today (Dark and Gent, 2001). Many other organisms have also been dispersed outside their native ranges by human activities;

being released from biotic and abiotic factors keeping these species in check in their native habitats has led to some species becoming problematic at various different levels, including impacting negatively on natural environments (e.g., Chinchio et al., 2020; Gioria et al., 2023).

During natural evolutionary processes, geographical barriers have restricted most organisms, including pests and pathogens, to particular regions over long periods, with further spread occurring only very slowly, if at all. In the past 500 years, however, human activities, particularly related to migrations between continents, have increased enormously, with a consequence that the geographical barriers to movement of pests and pathogens have been broken down (Richardson et al., 2000; Santini et al., 2013; 2018), resulting in indigenous plants becoming exposed to organisms with which they have had no recent exposure; sometimes, this exposure leads to major disease outbreaks, with potential near extinctions of susceptible host species. The rate of novel invasions has increased exponentially, particularly following the adoption of shipping containerisation, because of accelerations and improvements in modes of transport for plants.

✉ ^a Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, East Campus, 32260, Isparta, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): stephenwoodward@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 09.10.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 14.11.2024



Citation (Atıf): Woodward, S., Doğmuş Lehtijärvi, H.T., 2024. Invasive pathogens impacting forest and urban trees in Türkiye. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 362-379. DOI: [10.18182/tjf.1561397](https://doi.org/10.18182/tjf.1561397)

Despite the known invasions, recognition of the issue by regulatory authorities was slow to develop. An early example that was acted upon was when

European viticulture was seriously impacted by the accidental introduction, in 1862, of grape phylloxera, *Daktulosphaera vitifoliae* (syn. *Phylloxera vastatrix*), on vines imported from North America to a vineyard in France for breeding with European grape varieties (Stevenson, 1970; MacLeod et al., 2010). Representatives from seven European countries met in Berne, Switzerland, in 1878, to develop what is considered the first international phytosanitary agreement, the “International Convention on Measures to be taken against *Phylloxera vastatrix*” which specified actions to avoid further imports and spread of the highly destructive pest.

At about the same time, legislation entitled ‘The Destructive Insects Act 1877’ passed through parliament in the United Kingdom, to enable inspection of imports to reduce and prevent the accidental introduction of plant pests (MacLeod et al., 2010).

Countries globally instigated their own plant quarantine regulations, in attempts to reduce invasions. In Türkiye, plant quarantine is regulated under Law No. 6968 ‘agricultural control and agricultural quarantine and the Plant Quarantine Regulation’. The law was established in 1957, but is regularly updated to take account of newly discovered threats to Turkish agriculture and the wider environment. Current regulation was updated in 2016 and determines procedures to which plants, plant products and other substances are subject in terms of phytosanitary inspections on entry into or exit from Türkiye, with prescribed controls for imported and exported plants and plant products at customs, the species prohibited from entry and exit, those which require specific phytosanitary certificates, and the pests and pathogens subject to quarantine.

This review focuses on current issues of increased damage in Turkish forest ecosystems caused by invasive alien species (IAS), some of which have led to, or are threatening, near extinction events for several tree genera and species. In addition, known invasive pathogens which are, as yet not present in Türkiye are highlighted.

Pathways of Invasion

Natural spread

The process of natural spread is slow, when compared with human-driven spread. Natural spread can also include pathogens vectored by animals. Insects are local vectors of many plant pathogens, either through ‘accidental’ adhesion of propagules to the exoskeleton or, in some cases, deliberate (biologically) carriage of the micro-organism in order to enhance the niche for egg laying (see: Santini and Battasti, 2019). Propagules of microorganisms, including pathogens, can also spread on feathers and feet of birds (Dadam et al., 2020), possibly enabling distant dispersal during migrations.

Trade Pathways

Imports

Currently, the most significant pathway for inadvertent distribution of invasive organisms is trade in live plants (Santini et al., 2013; Jung et al., 2016; Panzavolta et al., 2021). For example, in the last approximately 150 years, some 70% of invasive forest pests and pathogens establishing in the United States probably arrived on imported live plants (Liebhold et al., 2012).

International trade in plants and plant products has increased enormously in the last fifty to seventy years, with improvements in treatment of plants in transit and speed of travel. A significant factor in this increased efficiency of transport came with the adoption of containerised shipping, which began in the early 1950s. Given the massive numbers of plants traded globally each year, against the numbers of qualified phytosanitary inspectors working in biosecurity units, it is no surprise that many exotic pests and pathogens escape detection in imported materials. It is testament to the skills and dedication of the inspectors that many more damaging agents do not enter and establish in exotic locations.

With this human-caused expansion of the ranges of multiple problematic organisms have come massive disturbances to invaded ecosystems and severe socio-economic impacts (Aukema et al., 2010), as detailed below. In the past 25 to 30 years, there has been a further marked increase in the numbers of alien invasive pests and pathogens of plants recorded in populated continents of earth, damaging agriculture, horticulture and the wider environment, including both natural and plantation forest ecosystems. It must be emphasised: the reasons for this upsurge are clear - all involve interacting human-driven factors, with, arguably, global trade as the most important component in the complex (Santini et al., 2018). Climate change is also having an impact on the establishment and impact of invasive pests and pathogens (Jactel et al., 2020).

Examples of Invasive Pathogens Impacting Forest and Urban Trees in Türkiye

Sweet chestnut canker

A classical example of an alien invasive species (AIS), one commonly used in plant pathology textbooks, is the canker affecting *Castanea dentata* and *C. sativa*, caused by *Cryphonectria parasitica*. The disease was first noted in 1905 (Merkel, 1905) on dying *C. dentata* (American chestnut) trees growing in the New York Zoological Garden, USA. Within 40 years of this first discovery, the disease had spread throughout most of the natural range of the American chestnut, killing the above-ground parts of the trees and reducing this once mighty and common species to scattered shrubs (Anagnostakis, 1987). Along with the loss of the trees, industries associated with timber and bark use died out. In addition, the extensive ecological functions of the trees were lost, not least of which was the annual crop of edible nuts of value to many forest fauna as well as to humans.

Sadly, the disease soon spread out of North America. It was reported near Genoa and, further south, near Avellino in Italy, after which the pathogen spread throughout the Italian chestnut growing areas (Biraghi, 1950). The pathogen spread

northwards, into France (1946) and Switzerland (1951) and more widely in southern Europe thereafter. By 1967, *Cryphonectria parasitica* was found killing *Castanea sativa* in the native range of the host, in Türkiye (Delen, 1975; Figure 1).

The spread of this damaging pathogen from the region of evolution, Far East Asia, into the USA was undoubtedly on either young chestnut plants, or in contaminated timber

imported into New York, probably towards the end of the 19th century (Anagnostakis, 1987).

As with the Phylloxera issue affecting the grapevine in Europe, chestnut canker clearly illustrated the potential for alien invasive micro-organisms to cause disastrous, near extermination of populations of susceptible species that were not previously exposed to the problem.



Figure 1. Symptoms of sweet chestnut blight caused by *Cryphonectria parasitica* infections on *Castanea sativa*. A) Significant landscape-scale damage showing as dieback in North Macedonia; B) canker on a stem in Rise Region, Türkiye; C) fruiting bodies on a main stem in North Macedonia (Images a and c, courtesy of Prof. Kiril Sotirovski).

Dutch elm disease

Another striking example of the catastrophic impacts invasive alien pathogens potentially have on tree populations was the spread throughout the northern hemisphere in the 20th Century of two closely related Dutch elm disease (DED) pathogens, *Ophiostoma ulmi* and *O. novo-ulmi* (Figure 2). Serious dieback of elms was noted in France in 1918, late in the First World War and, ultimately, was shown to be caused by a wilt pathogen. This particular outbreak of Dutch elm

disease, caused by *Ophiostoma ulmi*, resulted in the death of approximately 30% of elms. By the 1950s, the disease appeared to have attenuated and was causing very few problems (Peace, 1960). By the late 1960s, however, many elms in parts of England were dying, following symptoms reminiscent of the DED outbreak characterised earlier in the 20th Century (Gibbs and Brasier, 1973). Similar problems occurred in North America: the less aggressive outbreak was quickly followed by loss of elms on a huge scale.



Figure 2. Symptoms of Dutch elm disease on *Ulmus* species. A) Dying *U. glabra* in a field boundary, Scotland; B) killed elms may remain standing for several years after death; C) initial symptoms may appear on one side of the crown; D) severely wilted foliage of *U. glabra*; E) feeding groove (arrowed) caused by *Scolytus scolytus* on *U. minor*; F) typical dark brown staining in the xylem, indicative of vascular infection/dysfunction (D. Barrett).

The outbreak was investigated in great detail in the UK. Mapping demonstrated that deaths were focused on the hinterlands of major ports in England and Wales; a forensic investigation of imported logs of *U. thomasi* arriving from Canada into southern England showed that the DED pathogen was present and was being spread to local elms around the ports by the North America elm bark beetle, *Hylurgopinus rufipes* (Gibbs and Brasier, 1973). Bark beetles vector DED pathogens; in Europe, the vectors include several species of *Scolytus*, mainly *S. scolytus*, but replaced by *S. multistriatus* in more northerly latitudes (Santini and Faccioli, 2015). In further work, it became clear that this second epidemic of DED was caused by a species new to science, subsequently named *Ophiostoma novo-ulmi* (Brasier, 1991; 2000). Comparing isolates of the aggressive pathogen obtained in the UK with those from a newly noted outbreak of serious Dutch elm disease in the southeast of Europe indicated that the two populations were of the same species, but were distinguished by several morphological features. Isolates of the two populations, however, were sexually compatible and produced offspring which, hypothetically, could be more aggressive. A further aggressive species was subsequently found in northern Himachal Pradesh, western Himalayas, and named *O. himal-ulmi* (Brasier and Mehrota, 1995).

European, Eurasian and North American species of *Ulmus* are all highly susceptible to infection by *O. novo-ulmi* (Brasier, 2000), although certain Far-east Asian elms are far more tolerant, suggesting that the pathogen evolved in that region.

Cupressus canker

Cupressus sempervirens is an iconic tree species in the Mediterranean region, considered as a significant component in the typical landscape. This ornamental value, along with medicinal properties, was recognised thousands of years ago and humans spread the tree from the native range in Persia (now Iran) and the eastern Mediterranean, including Türkiye, throughout the Mediterranean basin. The tree had rather few highly damaging pests or pathogens over much of history, until the emergence of a canker, caused by *Seiridium cardinale*, which was first noted causing problems on the Monterey Peninsula, California (Wagener, 1928), but appeared to spread rapidly in subsequent years to Australia and New Zealand, Europe and South America, via movement of infected plant material (Grasso, 1951; Graniti, 1998). The pathogen infects species of *Cupressus*, *Chamaecyparis*, *Cryptomeria*, *Juniperus*, *Thuja*, and *×Cupressocyparis* (Graniti, 1998), causing symptoms of varying severity.

The first outbreak in Europe was recorded in Italy in the 1930s (Graniti, 1998). *Cupressus sempervirens* proved to be highly susceptible to infection by the pathogen, resulting in notable damage to trees and reduced aesthetic appeal of the landscape (Figure 3). A *Cupressus* species showing low susceptibility, *C. arizonica*, is often used as a replacement tree with similar environmental tolerance, but this exotic tree does not replace the aesthetic landscape form of the fastigiate *C. sempervirens*, so important in the Mediterranean region. Infection occurs through wounds in the bark tissues, which may girdle branches or the main stem, leading to dieback (Graniti, 1998).

Phytophthora species

There are many damaging plant and animal pathogens in the Kingdom Stramenopila, particularly in the Oomycota. Species of *Phytophthora*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Saprolegnia*, *Leptolegnia*, *Aphanomyces* and *Achlya*, are notorious for causing serious problems, resulting in massive losses globally in agriculture, horticulture, aquaculture and natural ecosystems (Benavent-Celma et al., 2021). Species of *Phytophthora* are causing epidemics on trees in different regions of the world, with the most well-known species overall arguably being *P. cinnamomi*, *P. x cambivora* and *P. ramorum* (Hansen, 2015). Currently, there are 192 formally described species (Abad et al., 2023; Coomber et al., 2023), but there could be 400–600 species in total (Brasier, 2009; O'Brien and Hardy, 2014), meaning many unknown species may be present in relatively unexplored ecosystems globally.

In terms of biosecurity issues, *Phytophthora* and other plant pathogenic oomycetes are commonly transported in the 'plants for planting pathway'; hardy woody ornamental plants traded in garden centres and online in Northern Europe, for example, almost all include pathogenic oomycetes on the plant root tissues or in the accompanying substrate/compost (Puertolas et al., 2021).

Phytophthora cinnamomi, one of the most damaging plant pathogens known, has a host list including over 5,000 plants (Hardham and Blackman, 2018). If suitable environmental conditions are present, serious problems can arise anywhere the pathogen is known, but hot spots of activity are known in certain regions of high biodiversity, such as in South Western Australia (Cahill et al., 2008; Figure 4A) and in the Fynbos, South Africa; the woody flora may die across landscapes, usually following human-caused disturbance (Engelbrecht and Van den Berg, 2013; Reeksting et al., 2014).



Figure 3. Symptoms of *Seiridium cardinale* infection on *Cupressus sempervirens*. A) Branches in the crown show early signs of dieback; B) Top dieback of a mature tree; C) initial symptoms of infection on a branch in the lower crown; D) resin bleeding seen on the main stem.

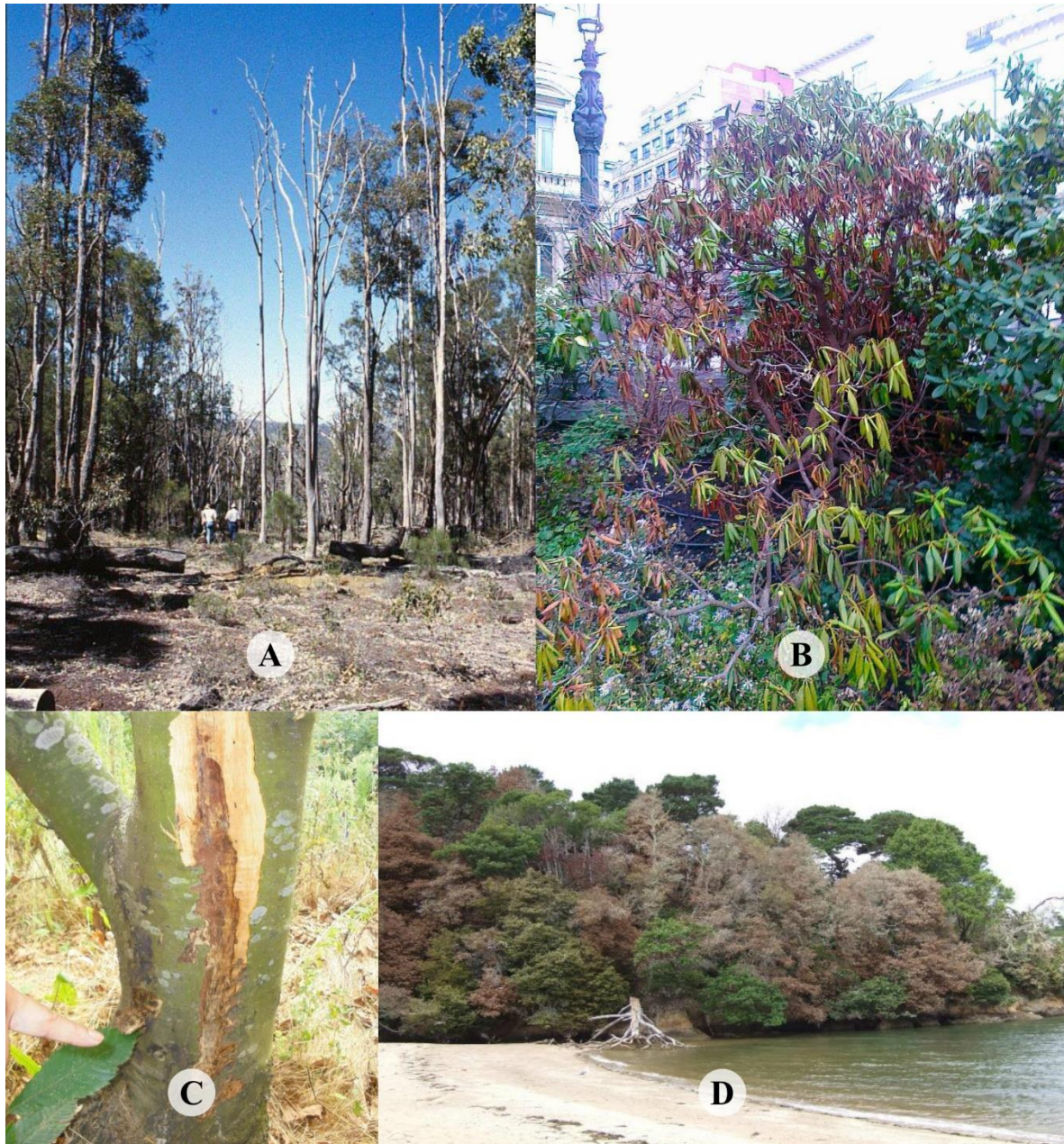


Figure 4. Dieback caused by *Phytophthora* spp. A) *Eucalyptus marginata* stand badly damaged by *P. cinnamomi* in Western Australia; B) *Rhododendron* variety in a small park in Brussels dying following infection, probably caused by *P. plurivora*; C) Typical sub-cortical lesion on *Castanea sativa* infected with *P. x cambivora* (contrast enhanced) in Türkiye; D) Extensive death of coastal forest trees infected with *P. ramorum* in California.

The pathogen was first described in the 1920s when cinnamon trees, native to Sri Lanka, were planted in Papua New Guinea and soon began to die (Rands 1922; Arentz and Simpson, 1986). It is likely that the pathogen was spread by human activity from its centre of origin, probably in the Celebes, before it was first isolated and described, as diebacks characteristic of this organism were already noted in several regions globally (e.g. Santini et al., 2013).

Phytophthora dieback, caused by both *P. cinnamomi* and *P. x cambivora*, is a well-known problem on *Castanea sativa* in Europe, but *P. cinnamomi* also causes dieback and mortality on *Quercus* species, amongst many other hosts (Fig. 2a). The pathogen causes epidemics on *C. sativa* and *Quercus* spp., especially *Q. suber*, throughout the Mediterranean region, with particularly serious attacks noted in Italy

(Vannini and Vettrano, 2001; Scanu et al., 2013), Spain (Rodríguez-Molina et al., 2005), Portugal (Brasier et al., 1993; Moreira and Martins, 2005) and Türkiye (Balçı and Halmschlager, 2003a; Akıllı et al., 2012a). The Mediterranean climate favours these pathogens, particularly when associated with intermittent rainfall and droughts.

In Türkiye, both *P. cinnamomi* and *P. x cambivora* cause serious root disease on *C. sativa* (Akıllı Şimşek et al., 2019), although *P. x cambivora* appears to be more common and aggressive on this host. Other *Phytophthora* spp. may also be involved in root diseases on *C. sativa*, but the relative importance of these additional species in the problem is unclear. Work carried out in oak-dominated forests in Türkiye suggested that many species of *Phytophthora* were present in these ecosystems (Balçı and Halmschlager, 2003b), where *P.*

quercina was the most common cause of dieback, especially when the stands occurred on slopes subject to intermittent drought.

Box blight

Dieback of *Buxus sempervirens* clones used in ornamental plantings in England provided the first report of boxwood blight in 1994 (Henricot, 2006; Henricot and Culham, 2017). Subsequently, the disease was recognised globally in all regions where *B. sempervirens* is common in amenity plantings (see Leblanc et al., 2018). Unfortunately, the pathogen is killing *B. sempervirens* (and the putative species, *B. colchica*) in natural settings too, threatening these ecosystems. In Türkiye, *B. sempervirens* is a dominant understory species in the northern east Black Sea region, and 90% of some box populations were totally defoliated within 12 months of the first report of boxwood blight in the region

(Figure 5; Akıllı et al., 2012b; Lehtijärvi et al., 2014; 2017a; Mirabolfathy et al., 2013). The environment in the Black Sea region of Türkiye and neighbouring Georgia is characterised by high humidity for much of the year, providing perfect conditions for the disease and spread of the spores.

Two similar species of *Calonectria*, *Calonectria pseudonaviculata* and *C. henricotiae*, initially classified as *Cylindrocladium*, cause the disease. As with many invasive plant pathogens, the origins of these species are unknown. It is certain, however, that they are spread by human activities, particularly through the transport of live plant materials (LeBlanc et al., 2018). A further highly damaging problem affecting box, the box moth, *Cydalima spectabilis*, was also recently introduced into Europe and Eurasia from Asia, threatening the future of *B. sempervirens* in natural forests and as ornamental plantings.



Figure 5. Impacts of box blight on *Buxus sempervirens* in the Black Sea region of north-east Türkiye. Early symptoms of infection causing lesions on the A) upper and B) lower foliage; C) *B. sempervirens* understory in forest of the Black Sea Region showing severe defoliation. Foliage in the upper crowns remains green due to lower humidity; D) severe dieback of ornamental *B. sempervirens* variety. (Images courtesy of Prof. A. Lehtijärvi).

Canker stain of *Platanus*

This disease of *Platanus* species was causing notable dieback and mortality on occidental (*P. orientalis*) and hybrid (*P. x hispanica*; syn. *P. x acerifolia*) plane (American sycamore) planted in eastern North American cities in the 1930s (Crandal, 1935; Panconesi, 1999); it soon became clear, however, that although the commonly planted hybrid and oriental planes always died after infection, the occidental (*P. occidentalis*) plane suffered some dieback but usually survived (Panconesi, 1999). The pathogen responsible, *Ceratocystis platani*, maybe native to the southeast of North America (Engelbrecht et al., 2004), but was accidentally introduced into Europe, probably during World War II (Panconesi, 1999). The common clones of *P. x hispanica* planted in cities of Western and Southern Europe proved highly susceptible to mortality, dying quickly after infection (Ferrari and Pichenot, 1976; Panconesi, 1999). The plane species native in Türkiye, *P. orientalis*, is also highly

susceptible and dies rapidly. As *P. orientalis* is an important city tree and major component of riparian ecosystems in the eastern Mediterranean region, continuing spread of the canker stain pathogen poses an enormous existential threat to these ecosystems. In Europe, problems caused by *C. platani* are reported in Italy, Switzerland, France, Greece, Albania and the European part of Türkiye.

After entering Italy, probably on munitions packing used by the USA military forces in World War II (Tsopelas et al., 2017), the problem gained notoriety when urban *P. x hispanica* began dying, seriously detracting from the aesthetics of the numerous major avenues of this species in urban centres (Figure 6). Subsequently, the pathogen was discovered in south-east France, spreading from likely additional introductions into the port of Marseilles. With a few possible exceptions in Sicily (Tutin et al., 1964), all *Platanus* trees killed in Italy, France and Switzerland were planted.

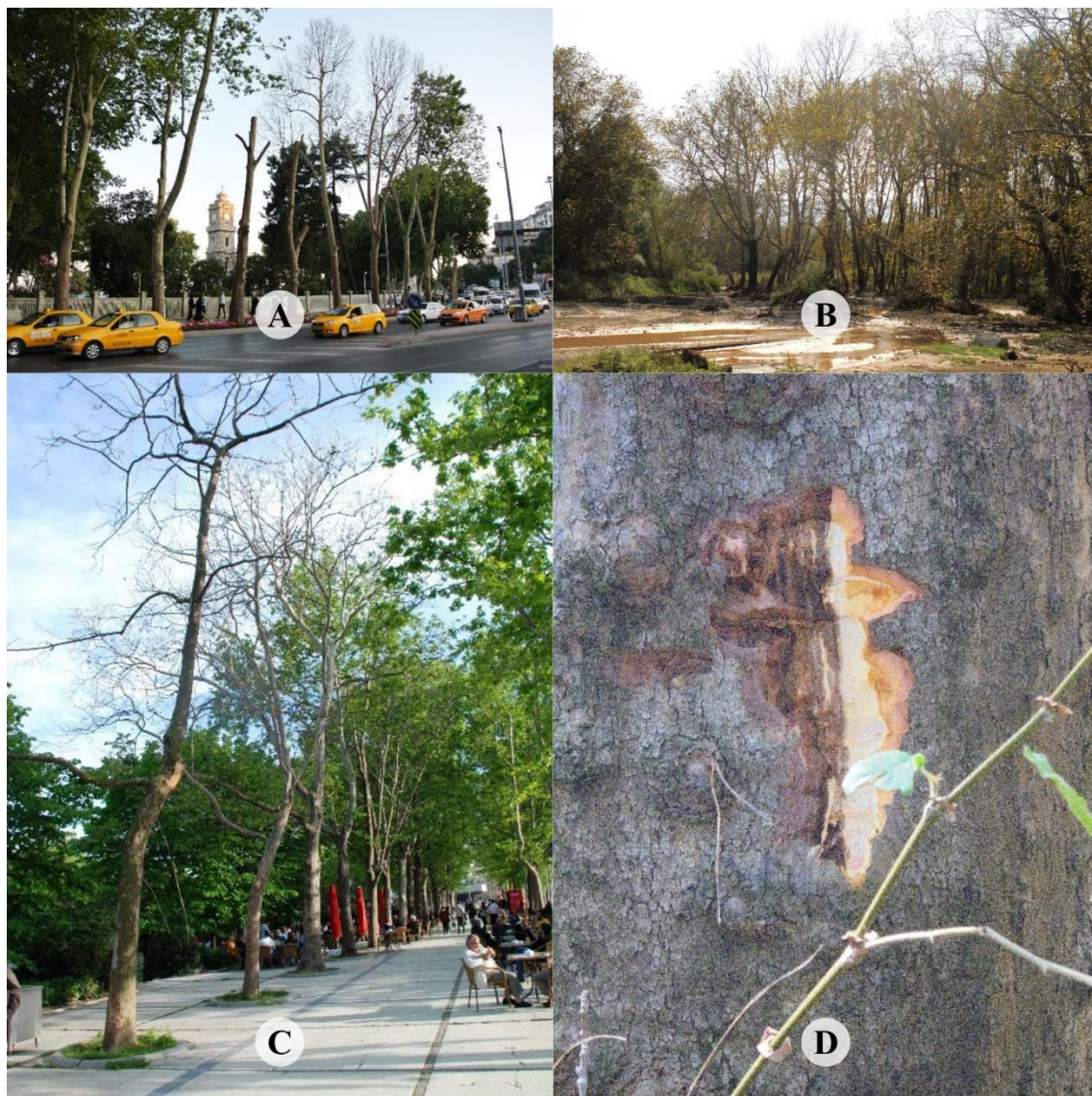


Figure 6. Damage caused by *Ceratocystis platani* to *Platanus* spp. A) Typical successional dieback of *P. x acerifolia* on an avenue along Dolmabahçe, Istanbul. The trees are probably clonal; B) Severe damage in a riparian stand of *P. orientalis* in Greece, with many dead and dying trees (contrast enhanced); C) Dying *P. orientalis* planted for ornamental purposes in an Gezi Park, Istanbul; D) Typical sub-cortical lesion-healthy tissue boundary on *P. orientalis* in Greece.

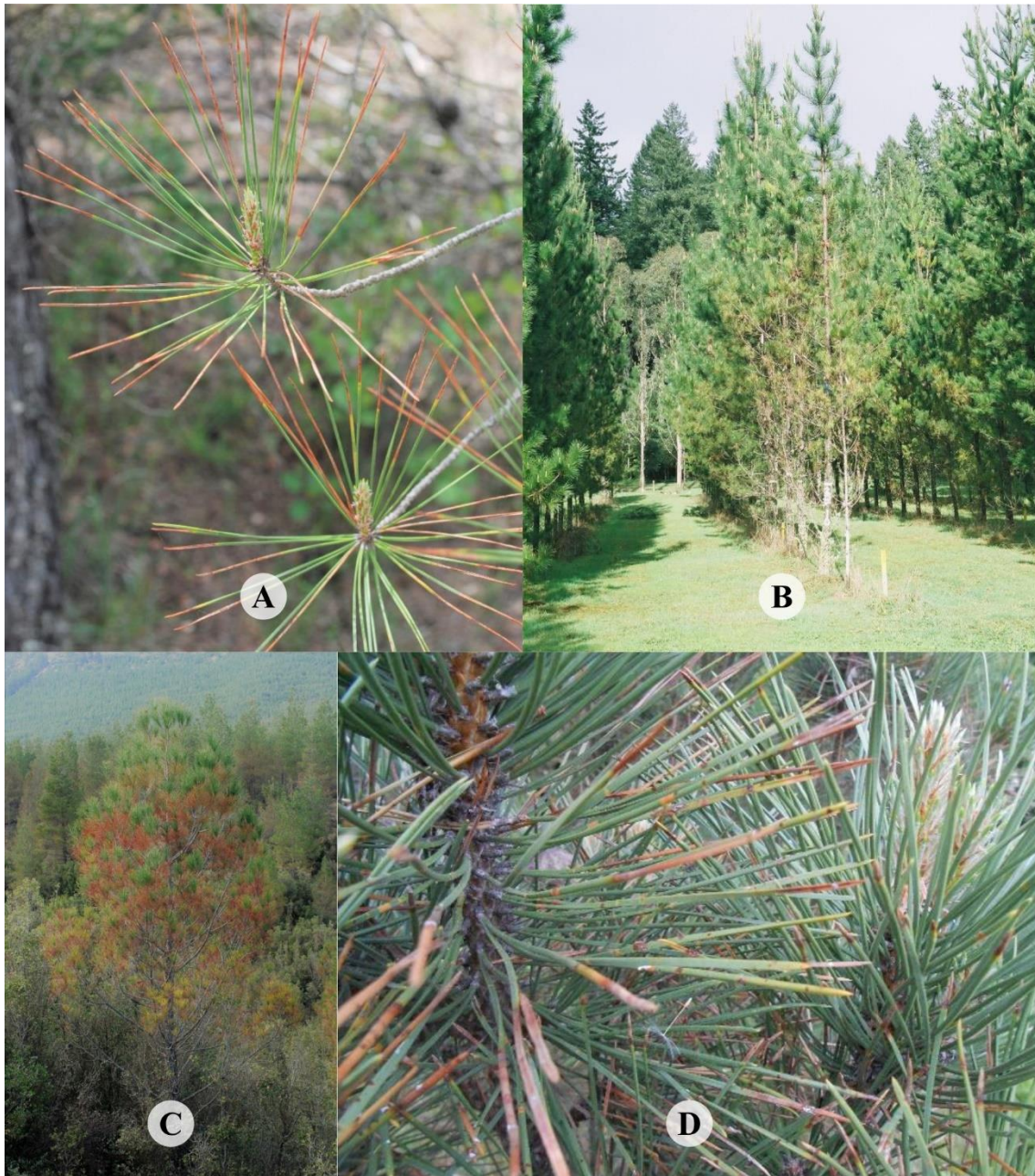


Figure 7. Dothistroma needle blight on A) *P. brutia* showing typical low needle density and death of needle tissues, mostly at the tips; B) *Pinus radiata* tolerance trial, Rotorua, New Zealand; C) Severe symptoms of *D. septosporum* infection on *P. brutia* in Türkiye; D) Close-up of lesions caused by *D. septosporum* on needles of *P. mugo*. [Images a and c courtesy of Prof. Asko Lehtijärvi.]



Figure 8. Brown spot needle disease. A. B) severe needle infections have killed this dwarf variety of *P. nigra* ssp. *pallasiana* in Atatürk Arboretum, Istanbul; C, D) clear infection issues on needles of *P. mugo*, Tartu, Estonia.

The disease was confirmed on *P. orientalis* trees in natural stands in Greece in the early 2000s (Tsopelas and Angelopoulos, 2004; Tsopelas and Soulioti, 2011), probably following import into Greece on plane trees from nurseries in Italy. Since that time, canker stain has spread into Albania, initially near to the Greek border (Tsopelas et al., 2015), but recent observations suggest that it has now spread further in Albania: *P. orientalis* trees are dying along river valleys in the eastern Albanian Alps, towards the border with North Macedonia (personal observations, September 2021). More recently, canker stain was discovered killing important amenity *Platanus* trees in Istanbul: in the city, both the hybrid and *P. orientalis* are highly significant iconic trees, comprising a major proportion of the urban tree population (Lehtijärvi et al., 2017b). Further spread into both city and natural stands of *P. orientalis* in Türkiye are considered highly likely.

Ceratocystis platani gains access to host trees via wounds exposing inner bark tissues, often created by pruning activities in urban areas. Subsequently, the pathogen grows rapidly in the secondary phloem and into sapwood, where toxins are released causing a catastrophic disruption to water balance in hosts: stomatal regulation is disrupted, with subsequent wilting, dieback and, ultimately, death (Panconesi, 1981). Pruning, traditionally carried out on urban *Platanus* trees to maintain the crown size and increase leaf growth, improving shading in urban areas, increases the probability of spread of *C. platani*, accelerating the serious impacts caused to the aesthetics of street and park plantings.

Dothistroma needle blight (DNB)

Although recognised as a pathogen in the early 20th century (Doroguine, 1911; Drenkhan et al., 2016), until approximately 30 years ago DNB (previously known as red

band needle blight) (Figure 7D) was considered a serious problem only in pine plantations in the southern Hemisphere (Gibson, 1974). The highlands of countries in East Africa were considered to have conditions ideal for growth of subtropical pines, but in the 1950s-60s, plantations established there were devastated by attacks of *Dothistroma*. A similar problem occurred in radiata pine plantations in New Zealand at about the same time; methods for reducing the damage in New Zealand, however, received considerable attention and the implementation of management methods to maintain the health of *P. radiata* which, diseases notwithstanding, grows exceptionally well in the region (Will, 1964). (Figure 7B).

In the early 1990s, however, serious outbreaks of DNB occurred extensively in European and North American natural pine forests and plantations, causing significant yield losses and mortality in several *Pinus* spp. (see Drenkhan et al., 2016).

Until the early 2000s, it was thought that a single pathogenic species, named *Dothistroma pini* was the causal agent of DNB. Molecular analyses at FABI in South Africa, however, proved that two cryptic species, now named *D. pini* and *D. septosporum* (Barnes et al., 2004), were present. *Dothistroma septosporum* appears to be the more common species responsible for serious DNB outbreaks in pine forests of much of the Northern Hemisphere. Most species of pine may be badly damaged in their natural habitats and plantations by DNB, although occurrence of significant infection and disease development is dependent on prolonged periods of very high humidity (Bulman et al., 2013). Fluctuating climatic conditions lead to sporadic epidemics. With relevance to Türkiye, most sub-species of *P. nigra* and some provenances of *P. brutia* (Figure 7A,C) can be severely infected (Aday Kaya et al., 2019; Oskay et al., 2020a). Globally, however, *Dothistroma* species have been recorded infecting 109 Pinaceae hosts, the majority of which are *Pinus*

spp., although *D. septosporum* is also known to infect species of *Abies*, *Cedrus*, *Larix*, *Picea* and *Pseudotsuga*, with serious infections leading to some needle loss (Drenkhan et al., 2016).

A very noticeable impact of DNB on pines is thinning of crowns resulting from a significant reduction in the number of years foliage retained (Drenkhan et al., 2016).

The origins of the *Dothistroma* pathogens are unknown. There is considerable diversity in the *D. septosporum* population in Türkiye (Oskay et al., 2020a), suggesting that this particular species may have evolved in the region. It is thought likely that the upsurge in DNB intensity in the late 20th into the 21st century, however, was due to the spread of different genotypes of the pathogen showing variations in virulence, as clearly demonstrated in Northern Britain (Piotrowska et al., 2017; Ennos et al., 2020).

Brown spot needle blight of pines

Lecanosticta acicola (syn. *Scirrhia acicola*; *Mycosphaerella dearnesii*) causes brown spot needle disease of *Pinus* spp., and is a particular problem in plantings of highly susceptible pines and in Christmas tree plantations in North America. Disease symptoms include brown lesions on infected needles (Figure 8A), causing premature abscission of foliage; if the disease is severe and re-occurs affected trees may die (Figure 8B). The pathogen has spread from the presumed centre of evolution in North America, into Central and South America, Asia, Europe and Türkiye (<https://gd.eppo.int/taxon/SCIRAC/distribution>). Over forty *Pinus* species are known hosts of the pathogen (van der Nest et al. 2019); in Türkiye, *Cedrus libani* is also known to be susceptible, suffering defoliation (Oskay et al., 2020b).

In the past 15 – 20 years, *L. acicola* has spread rapidly in parts of Europe, with reports from different countries in the region (Van der Nest et al., 2019). The pathogen adds another threat to growth and production of pine, arguably one of the most important forest trees in the northern Hemisphere.

Other pathogens spreading globally

Other invasive pathogens could be introduced into Türkiye in the near future, particularly *Hymenoscyphus fraxineus*, the cause of ash dieback (Figure 9A,B; e.g., Davydenko et al., 2022). To date, the disease has not been recorded in the country, although vigilance is required to prevent invasion which could damage the extensive native ash forests and the trees planted in urban environments.

There are many other examples of pathogens spreading outside their natural ranges and causing serious problems in hitherto naïve populations of forest and urban trees. In addition, there are many pathogens known in other parts of the world which may be inadvertently transported to Türkiye and establish within the state. Examples of serious invasive

pathogens threatening Turkish forests and forest industries include the pine wilt nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, pine pitch canker, *Fusarium circinatum* (Figure 8C,D) and many *Phytophthora* species as yet undetected in the country. Pine wilt nematode is particularly problematic on species of *Pinus* that are not native to its native range in North America (Rodrigues et al., 2015). It is vectored from affected to unaffected trees via longhorn beetles in the genus *Monochamus*, of which several are present in Europe (Wallin, 2013). Infection with the nematode causes mortality of pines. The nematode is present in Portugal and Spain in Europe and highly stringent biosecurity protocols are in place in an attempt to prevent further spread. Pine pitch canker is also a highly damaging pathogen affecting most pines to a greater or lesser extent, and certain other Pinaceae, particularly *Pseudotsuga menziesii* (Wingfield et al., 2008; Drenkhan et al., 2020). The pathogen causes disease in two distinguishable forms, one affecting young plants in the nursery resulting in damping-off, the second causing cankers and excessive resin bleeding on older trees in the field (Figure 8B). *Pinus brutia* is known to be susceptible to the pathogen (Doğmuş, unpublished).

In addition to the *Phytophthora* spp. mentioned above, there are many other species in the genus which infect and damage trees. These species spread readily in the plants for planting pathway (Jung et al., 2016; Puertolas et al., 2021), which is an extensive global trade and very difficult to monitor with accuracy.

The xylem-limited bacterium, *Xylella fastidiosa*, is a great concern globally (EPP0, 2024). It was known for many years in North America, particularly causing Pierce's Disease on grapevine, although the causal agent was not characterised until the 1980s (Wells et al., 1987). It is now clear, however, that pathovars of *X. fastidiosa* are well established in parts of Europe and, alarmingly, particularly damaging to olive trees (Morelli et al., 2021). Spread of these organisms into Türkiye would be of huge concern for the olive industry, but also because of damage caused to other crops and trees.

What can be done to mitigate problems caused by invasive pathogens?

Arguably, the most important and probably beneficial approach to take to reduce the import and export of damaging pathogens is the application of very stringent biosecurity protocols in producing nurseries, at exporting ports, and on arrival of the plants/plant materials at ports in the receiving states. Beyond that approach, the question is how to deal with these invasions as they occur. In the USA and Australasia, biosecurity protocols are far more stringent than in many other countries, although many invasions still occur in both countries.



Figure 9. Other highly damaging invasive pathogens. A) severe crown dieback of *Fraxinus excelsior* caused by the ash dieback pathogen, *Hymenoscyphus fraxinea*; B) Typical elongated bark lesion on young stem of *F. excelsior* infected with *H. fraxinea*; C) extensive dieback of *Pinus greggii* following infection by *Fusarium circinatum* in South Africa; D) *Fusarium circinatum* infection of radiata pine accompanied by excessive resin flow from tissues around lesions (northwestern Spain).

Prevention of introduction is, by far, the most effective method for minimizing biological invasions, a simple conclusion that is supported by economic analyses (Crystal-Ornelas et al., 2021). As there are many potentially invasive pathogens known, it can be useful to conduct specific risk assessments, a very time-consuming process at this level. An alternative approach that has received considerable attention and scientific support recently is the pathways approach, focusing on the mode of dispersal rather than individual taxa. Both approaches enable targeting of biosecurity protocols at weak points in the system, to reduce the risks of introduction. It is very important, however, that any policies and protocols adopted utilize a strict evidence-based approach to avoid national protectionism and excessive competition (Potter,

2013), which contravenes World Trade Organization regulations, designed through cooperation between member states (Ormsby and Brenton-Rule, 2017). Rules within International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) No. 11 (Pest Analysis for Quarantine Pests) require countries to prepare pest risk analyses to justify precisely why any pathogen should be considered a significant quarantine problem and subject to biosecurity protocols on import (International Plant Protection Convention, 2017). Relevant to Türkiye are the European and Mediterranean Plant Protection Organization (www.eppo.int) A1 and A2 lists of threatening organisms (viruses, fungi, bacteria, insects, nematodes, parasitic plants). The A1 list is a compilation of pest organisms unknown in the EPPO region, whereas the A2

list covers pests with restricted distribution within the same region. These lists are updated regularly, based on recommendations by member countries who provide the required scientific evidence for inclusion, including pest risk analyses.

Early detection of invasive pathogens and infected plants is key to reducing invasions. Pest and pathogen detection and identification has progressed rapidly, mostly based on the deployment of rapid molecular techniques (see below). The numbers of reported interceptions by phytosanitary officers increases as the methods for detection improve, but the process does not prevent further invasions, as all applied methods have weaknesses. In the absence of any such protocols, however, it is likely that invasions would increase exponentially.

In the importing state, the first approach, once all the correct phytosanitary documentation has been checked, is to inspect the plant consignments, either whilst still in shipping or immediately after transfer to port facilities. Visual inspection is used extensively at this stage. As many billions of plants (and plant parts/products) are exported/imported each year, inspection must be focused. The stated aim of many biosecurity facilities is to inspect approximately 2% of imported plants visually (Eschen et al., 2015), a Figure calculated to maximise discovery of potential problems within the confines of the staffing levels present.

The advent of molecular biology techniques brought an ability to detect tiny quantities of pathogen DNA in plant tissue extracts (e.g., Hu et al., 2020). Currently, the main detection methods include quantitative polymerase chain reaction (qPCR), high throughput sequencing (HTS) and loop-mediated isothermal amplification (LAMP), each requiring varying levels of time inputs and technical expertise. Both qPCR and LAMP can be extremely useful when examining symptomatic plants where the identity of the causal agent is suspected. HTS is more useful in determining the possible presence of a potentially damaging pathogen in samples showing no immediate symptoms; downstream processing of the data arising from HTS requires a great deal of skill, making this system, arguably, expensive, although costs are reducing rapidly (Hale et al., 2020). It is extremely difficult to determine the presence of potentially invasive problems in the absence of symptoms, however, although research is underway on methods not relying on molecular methods, such as the use of 'sniffer dogs' or the electronic nose (Mota et al., 2021; Verma et al., 2022) and analyses of volatile organic compounds given off by the micro-organisms or infected plants (e.g., Nordström et al., 2022; Sherwood et al., 2024).

Once a pathogen is established in a territory, attempts at eradication may be made. Unfortunately, if the problem has been noticed in ecosystems that were previously considered free of the disease, it is almost always too late to destroy every infected tree and all colonised inoculum/substrate. Sanitation felling may be used to fell all infected trees; it is usual, in this procedure, to fell healthy-appearing trees in the immediate vicinity of known infections to reduce the possibility that these individuals are already infected but remain symptom-free.

Application of pesticides to affected trees is extremely unlikely to be effective in eliminating an infection. Moreover, pesticides do not have specific activity against any pests: use of fungicides, for example, will disrupt the total fungal population in an application area, potentially killing

beneficial species that could act antagonistically to the problematic species and also reducing host vigour through damaging populations of mutualistic species.

An approach to managing chestnut canker, Dutch elm disease, *Phytophthora lateralis* and some of the highly destructive rust diseases affecting pines in North America is selection and breeding for resistance (Diskin et al., 2006; Martin et al., 2019; Conrad et al., 2024). In agriculture, selection of resistant germplasm is considered the most effective way to control plant diseases in the long-term, but has generally required continuous breeding of novel resistant lines, to combat the genetic changes that occur in pathogen populations as a result of the deployment of resistance. This point is of particular importance in breeding trees for resistance to pathogens, as their long-life spans can result, with time, in exposure to a wider range of pathogens and pathogen genotypes (e.g., Kinloch et al., 2004; Sniezko and Koch, 2017). It is essential, therefore, that breeding for resistance in trees and other woody plants aims to incorporate multi-gene resistance in the plants, avoiding the single-gene resistance traits that have been commonly used in agricultural crops (Stuthman et al., 2007).

Once an invasive pathogen has established within a territory, actions can be instigated to 'slow the spread' (containment), can be applied (Liebhold and Kean, 2019), applying active management methods. This approach was used to reduce the speed of spread of *P. ramorum* in Oregon, for example (LeBoldus et al., 2022). In some instances, local quarantines can be used, in attempt to prevent spread of the invasive species between regions by strictly managing the movement of particular commodities known to be involved in spread, such as transport of plants and soils, or movement of timber. An example of this approach is banning the movement of firewood over approximately 74 cm in length in New York State, in an attempt to minimize the risk of spread of the oak wilt pathogen, *Bretziella fagacearum* (syn. *Ceratocystis fagacearum*) (New York Department of Environmental Conservation, 2020).

Ultimately, however, it may be necessary to learn to live with the problem, as has occurred many times in the past, sometimes resulting in the effective loss of a tree species or genus for use in forestry or ornamental plantings (Liebhold et al., 2024).

Conclusions

As for other states globally, Turkish plant-based ecosystems, including forests and urban tree plantings, are being attacked by invasive pathogens in addition to the endemic species already present. Many invasive pest and pathogen problems are already present, but actions can be taken to minimize the risk of further invasions occurring and to reduce the spread of already established problems:

- Care must be taken to ensure that any imported trees and other plants, plus plant-based materials, are from sources that maintain scrupulous hygiene in their production facilities;
- For any new imports of plants and plant products, risk analyses are probably available from other countries for perusal by authorities who consider shipping plans and should be reviewed to make sure that all available

information on the particular commodity is taken into consideration prior to licensing the imports;

- In the USA and the UK, national databases are available of potentially threatening pests and pathogens of trees and other plants known globally (e.g., Gilligan et al., 2013; Krist et al., 2014). These online databases provide quantifications of hazards posed by invasive organisms, based on expert opinion. A similar database for Türkiye would greatly assist in surveillance and rapid responses to incoming alien invasive species; the database should be flexible enough to cover novel problems as they occur;
- Outreach events should be organised to inform stakeholders (foresters, urban greenspace managers, nursery owners and managers) and for the general public, to increase awareness of the threats posed to trees in Türkiye by alien invasive pests and pathogens.

References

- Abad, Z.G., Burgess, T.I., Bourret, T., Bensch, K., Cacciola, S.O., Scanu, B., Mathew, R., Kasiborski, B., Srivastava, S., Kageyama, K., Bienapfl, J.C., Verkleij, G., Broders, K., Schena, L., Redford, A.J., 2023. *Phytophthora*: taxonomic and phylogenetic revision of the genus. *Studies in Mycology*, 106: 259-348.
- Aday Kaya, A.G., Gultekin, H.C., Karakaya, A., 2019. Marmara Bölgesindeki orman fidanlıklarında yetiştirilen odunsu bitkilerdeki fungus ve su küflerinin tespiti. *Turkish Journal of Forestry*, 20: 324-332.
- Akıllı, S., Serçe, Ç. U., Katircioğlu, S., Maden, S., 2012a. Involvement of *Phytophthora* spp. in chestnut decline in the Black Sea Region of Turkey. *Forest Pathology*, 42: 377-386.
- Akıllı, S., Katircioğlu, S., Zor, K., Maden, S., 2012b. First report of box blight caused by *Cylindrocladium pseudonaviculatum* in the Eastern Black Sea region of Turkey. *New Disease Reports*, 25: 23.
- Akıllı Şimşek, S., Katircioğlu, Y.Z., Ulubaş Serçe, Ç., Çakar, D., Rigling, D., Maden, S., 2019. *Phytophthora* species associated with die back of sweet chestnut in Western Turkey. *Forest Pathology*, 49: 1-11.
- Anagnostakis, S.L., 1987. Chestnut Blight: The classical problem of an introduced pathogen. *Mycologia*, 79: 23-37.
- Arentz, F., Simpson, J., 1986. Distribution of *Phytophthora cinnamomic* in Papua New Guinea and notes on its origin. *Transactions of the British Mycological Society*, 87: 289-295.
- Aukema, J.E., McCullough, D.G., von Holle, B., Liebhold, A.M., Britton, K., Frankel, S.J., 2010. Historical accumulation of nonindigenous forest pests in the continental United States. *BioScience*, 60: 886-897.
- Balci, Y., Halmshlager E., 2003a. *Phytophthora* species in oak ecosystems in Turkey and their association with declining oak trees. *Plant Pathology*, 52: 694-702.
- Balci, Y., Halmshlager E., 2003b. *Phytophthora* species in oak ecosystems in Turkey and their association with declining oak trees. *Plant Pathology*, 52: 694-702.
- Barnes, I., Crous P.W., Wingfield, B.D., Wingfield, M.J., 2004. Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini*. *Studies in Mycology*, 50: 551-565.
- Benavent-Celma, C., López-García, N., Ruba, T., Ściślak, M.E., Street-Jones, D., Van West, P., Woodward, S., Witzell, J., 2021. Current practices and emerging possibilities for reducing the spread of *Oomycete* pathogens in terrestrial and aquatic production systems. *Fungal Biology Reviews*, 40: 19-36.
- Biraghi, A., 1950. La distribuzione del cancro del castagno in Italia. *L'Italia Forestale e Montana*, 5: 18-21.
- Brasier, C.M., 1991. *Ophiostoma novo-ulmi* sp. nova, causative agent of current Dutch elm disease pandemics. *Mycopathologia*, 115: 151-161.
- Brasier, C.M., 2000. Viruses as biological control agents of the Dutch Elm disease fungus *Ophiostoma novo-ulmi*. In: *The Elms: breeding, conservation, and disease management* (Ed: Dunn, C.P.) Springer, Boston, pp. 201-212.
- Brasier, C., 2009. *Phytophthora* biodiversity: How many *Phytophthora* species are there? *Proceedings of IUFRO Meeting: Phytophthoras in Forests and Natural Ecosystems*, Fourth Meeting of IUFRO Working Party, 26-31 August, 2007 Monterey, California pp. 101-115.
- Brasier, C.M., Robredo, F., Ferraz, J.F.P., 1993. Evidence for *Phytophthora cinnamomic* involvement in Iberian oak decline. *Plant Pathology*, 42: 140-145.
- Brasier, C.M., Mehrotra, M.D., 1995. *Ophiostoma himal-ulmi* sp. nov., a new species of Dutch elm disease fungus endemic to the Himalayas. *Mycological Research*, 99: 205-215.
- Bulman, L.S., Dick, M.A., Ganley, R.J., McDougal, R.L., Schwelm, A., Bradshaw, R.E., 2013. *Dothistroma* needle blight. In: *Infectious Forest Diseases* (Ed: Gonthier, P., Nicolotti, G.) 22 CABI, pp. 436-457.
- Cahill, D.M., Rookes, J.E., Wilson, B.A., Gibson, L., McDougal, K.L., 2008. *Phytophthora cinnamomi* and Australia's biodiversity: impacts, predictions and progress towards control. *Australian Journal of Botany*, 56: 279-310.
- Chinchio, E., Crotta, M., Romeo, C., Drewe, J.A., Guitian, J., Ferrari, N., 2020. Invasive alien species and disease risk: An open challenge in public and animal health. *PloS Pathogens*, 16: e1008922.
- Coomber, A., Saville, A., Carbone, I., Ristaino, J. B., 2023. An Open-Access T-BAS Phylogeny for emerging *Phytophthora* species. *PLoS One*, 18(4): e0283540.
- Conrad, A.O., Sniezko, R., Bonello, P., Hughes, M.A., Colleen Lynch, S., Pike, C.C., Rojas, R., Roy, K., Sitz, R.A., Youtz, J., 2024. Strategies for Restoring Forest Tree Species and Landscapes Affected by Diseases, Chapter 9 in. In press.
- Crandal, B. S., 1935. *Endoconidiophora fimbriata* on sycamore. *Plant Disease Reporter*, 90: 98.
- Crystal-Ornelas, R., Hudgins, E. J., Cuthbert, R. N., Haubrock, P. J., Fantle-Lepczyk, J., Angulo, E., Kramer, A. M., Ballesteros-Mejia, L., Leroy, B., Leung, B., López-López, E., Diagne, C., Courchamp, F., 2021. Economic costs of biological invasions within North America. *NeoBiota*, 67: 485-510.
- Dadam, D., Siasou, E., Woodward, S., Clark, J. A., 2020. Migratory passerine birds in Britain carry *Phytophthora ramorum* inoculum on their feathers and "feet" at low frequency. *Forest Pathology*, 50: efp 12569.
- Dark, P., Gent, H., 2001. Pests and diseases of prehistoric crops: a yield 'honeymoon' for early grain crops in Europe. *Oxford Journal of Archaeology*, 20: 59-78.
- Davydenko, K., Skrylnyk, Y., Borysenko, O., Mankis, A., Vysotska, N., Meshkova, V., Olson, Å. A., Elfstrand, M., Vasaitis, R., 2022. Invasion of emerald ash borer *Agrilus planipennis* and ash dieback pathogen *Hymenoscyphus fraxineus* in Ukraine- A concerted action. *Forests*, 13: 789.
- Delen, N., 1975. Distribution and the biology of chestnut blight (*Endothia parasitica* (Murrill) Anderson and Anderson). *Journal of Turkish Phytopathology*, 4: 93-113.
- Diskin, M., Steiner, K.C., Heberd, F., 2006. Recovery of American chestnut characteristics following hybridization and backcross breeding to restore blight-ravaged *Castanea dentata*. *Forest Ecology and Management*, 223: 439-447.
- Doggett, S. L., Lee, C.-Y., 2023. Historical and contemporary control options against bed bugs, *Cimex* spp. *Annual Review of Entomology*, 68: 169-190.
- Doroguine, M., 1911. A cryptogamic disease of pines. *Bulletin de la Société Mycologique de France*, 27: 105-106.

- Drenkhan, R., Tomešová-Haataja, V., Fraser, S., Bradshaw, R. E., Vahalík, P., Mullett, M. S., Martín-García, J. L., Bulman, L. S. M., Wingfield, M. J., Kirisits, T., Cech, T. L., Schmitz, S., Baden, R., Tubby, K., Brown, A., Georgieva, M., Woods, A., Ahumada, R., Jankovský, L., Thomsen, I. M., Adamson, K., Marçais, B., Vuorinen, M., Tsopelas, P., Koltay, A., Halasz, A., La Porta, N., Anselmi, N., Kiesnere, R., Markovskaja, S., Kačergius, A., Papazova-Anakieva, I., Risteski, M., Sotirovski, K., Lazarević, J., Solheim, H., Boroň, P., Bragança, H., Chira, D., Musolin, D. L., Selikhovkin, A.V., Bulgakov, T. S., Keča, N., Karadžić, D., Galovic, V., Pap, P., Markovic, M., Poljakovic Pajnik, L., Vasic, V., Ondrušková, E., Piškur, B., Sadiković, D., Diez, J. J., Solla, A., Millberg, H., Stenlid, J., Angst, A., Queloz, V., Lehtijärvi, A., Doğmuş Lehtijärvi, H. T., Oskay, F., Davydenko, K., Meshkova, V., Craig, D., Woodward, S., Barnes, I., 2016. Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: a comprehensive review. *Forest Pathology*, 46: 408-442.
- Drenkhan, R., Ganley, R., Vahalík, P., Martín García, J., Hantula, J., Adamson, K., Soukainen, M., Georgieva, M., Ioos, R., Robin, C., Tsopelas, P., Soulioti, N., Koltay, A., Vemic, A., Enderle, R., Markovskaja, S., Raitelaitytė, K., Dvorak, M., Bragança, H., Ogris, N., Milenkovic, I., Cornejo, C., Iturrizka, E., Raposo, R., Mesanza, N., Sanz-Ros, A.V., Solla, A., Diez Casero, J., Zamora, C., Landeras, E., Rafoss, T., Capretti, P., Santini, A., Pecori, F., Pasquali, M., Vettraino, A.-M., Ghelardini, L., Davydenko, K., Papazova, I., Musolin, D., Karpun, N. N., Selikhovkin, A.V., Adamčíková, K., Cleary, M., Nowakowska, J. A., Oszako, T., Rodas, C., Fourie, G., Blank, L., Par, M., Doğmuş-Lehtijärvi, H. T., Oskay, F., Kanetis, L., Nikolaou, K., Ahumada, R., Woodward, S., Mullett, M. S., 2020. Global geographic distribution and host range of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pine pitch canker. *Forests*, 11: 724.
- Engelbrecht, J., Van den Berg, N., 2013. Expression of defence-related genes against *Phytophthora cinnamomi* in five avocado root-stocks. *South African Journal of Science*, 109: 1-8.
- Engelbrecht, C. J. B., Harrington, T. C., Steimel, J., Capretti, P., 2004. Genetic variation in eastern North American and putatively introduced populations of *Ceratocystis fimbriata* f. *platani*. *Molecular Ecology*, 13: 2995-3005.
- Ennos, R. A., Sjökvist, E. I., Piotrowska, M. J., Riddell, C., Hoebe, P. N., 2020. Using genome resequencing to investigate racial structure, genetic diversity, sexual reproduction and hybridisation in the pine pathogen *Dothistroma septosporum*. *Fungal Ecology*, 45: 100921.
- EPPO Global Database. Distribution of *Xylella fastidiosa* (XYLEFA). Available online: <https://gd.eppo.int/taxon/XYLEFA/distribution>. Accessed:14.06.2024.
- Eschen, R., Britton, K., Brockerhoff, E., Burgess, T., Dalley, V., Epanchin-Niell, R. S., Gupta, K., Hardy, G., Huang, Y., Kenis, M., Kimani, E., Li, H.-M., Olsen, S., Ormrod, R., Otieno, W., Sadof, C., Tadeu, E., Theyse, M., 2015. International variation in phytosanitary legislation and regulations governing importation of plants for planting. *Environmental Science and Policy*, 51: 228-37.
- Ferrari, J. P., Pichenot, M., 1976. The canker stain disease of plane tree in Marseille and in the south of France. *European Journal of Forest Pathology*, 6: 18-25.
- Fisher, M. C., Henk, A. D., Briggs, C. J., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., McCraw, S. H., Gurr, S. J., 2012. Emerging fungal threats to animal, plants and ecosystems. *Nature*, 484: 186-194.
- Gibbs, J. N., Brasier, C. M., 1973. Correlation between cultural characters and pathogenicity in *Ceratocystis ulmi* from Britain, Europe and America. *Nature*, 241:381-383.
- Gibson, I. A. S., 1974. Impact and control of *Dothistroma* blight of pines. *European Journal Plant Pathology*, 4: 89-100.
- Gilligan, C. A., Fraser, R., Godfray, C., Hanley, N., Leather, S., Meagher, T., Mumford, J., Petts, J., Pigeon, N., Potter, C., Shaw, M. W., Unger, J.-G., Woodward, S. 2013. Final Report. Tree Health and Plant Biosecurity Expert Taskforce. Department for the Environment, Food and Rural Affairs, London.
- Gioria, M., Hulme, P. E., Richardson, D. M., Pyšek, P., 2023. Why are invasive plants successful? *Annual Review of Plant Biology*, 74: 635-670.
- Graniti, A., 1998. Cypress canker: a pandemic in progress. *Annual Review of Phytopathology*, 36: 91-114.
- Grasso, V., 1951. A new pathogen *Coryneum cardinale* of *Cupressus macrocarpa* in Italy. *Italia Forestale e Montana*, 6: 62-65.
- Hale, H., Gardner, E. M., Viruel, J., Pokorny, L., Johnson, M. G., 2020. Strategies for reducing per-sample costs in target capture sequencing for phylogenomics and population genomics in plants. *Applications in Plant Sciences*, 8: e11337.
- Hansen, E. M., 2015. *Phytophthora* species emerging as pathogens of forest trees. *Current Forestry Reports*, 1: 16-24.
- Hardham, A. R., Blackman, L. M., 2018. Pathogen profile update: *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular Plant Pathology*, 19: 260-285.
- Henricot, B., 2006. Box blight rampages onwards. *Plantsman*, 5: 153-157.
- Henricot, B., Culham, A., 2017. *Cylindrocladium buxicola*, a new species affecting *Buxus* spp., and its phylogenetic status. *Mycologia*, 94: 980-997.
- Hu, Y., Wilson, S., Schwessinger, B., Rathjen, J.P., 2020. Blurred lines: integrating emerging technologies to advance plant biosecurity. *Current Opinion in Plant Biology*, 56: 127-134.
- International Plant Protection Convention, 2017. Annual Report. FAO, Rome.
- Jactel, H., Desprez-Loustau, M.L., Battisti, A., Brockerhoff, E., Santini A., Stenlid, J., Björkman, C., Branco, M., Dehnen-Schmutz, K., Douma, J.C., Drakulic, J., Drizou, F., Eschen, R., Franco, J.C., Gossner, M.M., Green, S., Kenis, M., Klapwijk, M.J., Liebhold, A.M., Orazio, C., Prospero, S., Robinet, C., Schroeder, M., Slippers, B., Stoev, P., Sun, J., van den Dool, R., Wingfield, M.J., Zaluck, M.P., 2020. Pathologists and entomologists must join forces against forest pest and pathogen invasions. *NeoBiota*, 58: 107-127.
- Jung, T., Orlikowski, L., Henricot, B., Abad-Campos, P., Aday Kaya, A. G., Aguín Casal, O., Bakonyi, J., Cacciola, S. O., Cech, T., Chavarriaga, D., Corcobado, T., Cravador, A., Decourcelle, T., Denton, G., Diamandis, S., Doğmuş Lehtijärvi, H. T., Franceschini, A., Ginetti, B., Glavendekic, M., Hantula, J., Hartmann, G., Herrero, M., Ivic, D., Horta Jung, M., Lilja, A., Keca, N., Kramarets, V., Lyubenova, A., Machado, H., Magnano di San Lio, G., Mansilla Vázquez, P. J., Marçais, B., Matsiakh, I., Milenkovic, I., Moricca, S., Nagy, Z.Á., Nechwatal, J., Olsson, C., Oszako, T., Pane, A., Paplomatas, E.J., Varela, C. P., Prospero, S., Martínez, C. R., Rigling, D., Robin, C., Rytönen, A., Sánchez, M. E., Sanz Ros, A.V., Scanu, B., Schlenzig, A., Schumacher, J., Slavov, S., Solla, A., Sousa, E., Stenlid, J., Tlğø, V., Tomic, Z., Tsopelas, P., Vannini, A., Vettraino, A.M., Weneker, M., Woodward, S., Pérez-Sierra, A., 2016. Widespread *Phytophthora* infestations in European nurseries put forest, semi-natural and horticultural ecosystems at high risk of *Phytophthora* Diseases. *Forest Pathology*, 46:134-163.
- Kausarud, H., Svegård, I.B., Sætre, G.P., Knudsen, H., Stensrud, Ø., Schmidt, O., Doi, S., Sugiyama, T., Högberg, N., 2007. Asian origin and rapid global spread of the destructive dry rot fungus *Serpula lacrymans*. *Molecular Ecology*, 16: 3350-3360.
- Kinloch, B.B. Jr., Sniezko, R.A., Dupper, G.E., 2004. Virulence gene distribution and dynamics of the white pine blister rust pathogen in western North America. *Phytopathology*, 94:751-758.

- Krist, F.J Jr., Ellenwood, J.R., Woods, M.E., McMahan, A.J., Cowardin, J.P., Ryerson, D. E., Sapio, F.J., Zweifler, M.O., Romer, S.A., 2014. 2013-2027 National Insect and Disease Forest Risk Assessment. Forest Health Technology Enterprise Team, FHTET-14-01. USDA Forest Service, Fort Collins, CO, USA.
- LeBlanc, N., Salgado-Salazar, C., Crouch, J.A., 2018. Boxwood blight: an ongoing threat to ornamental and native boxwood. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102: 4371-4380.
- LeBoldus, J.M. Navarro, S.M. Kline, N., Ritkova, G., Grünwald, N.J., 2022. Repeated emergence of sudden oak death in Oregon: Chronology, impact, and management. *Plant Disease*, 106: 3013-3021.
- Lehtijärvi, A., Doğmuş Lehtijärvi, H.T. Oskay, F., 2014. *Cylindrocladium buxicola* is threatening the native *Buxus sempervirens* populations in Turkey. *Plant Protection Science*, 50: 227-229.
- Lehtijärvi, A., Doğmuş Lehtijärvi, H.T. Oskay, F., 2017a. Boxwood blight in Turkey: impact on natural boxwood populations and management challenges. *Baltic Forestry*, 23: 274- 278.
- Lehtijärvi, A., Oskay, F., Doğmuş Lehtijärvi, H.T., Aday Kaya, A. G., Pecori, F., Santini, A., Woodward, S., 2017b. *Ceratocystis platani* killing *Platanus* trees in Istanbul, Turkey. *Forest Pathology*, 48: 1-8.
- Liebold, A.M., Brockerhoff, E.G., Garrett, L.J., Parke, J.L., Britton, K.O., 2012. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Frontiers in Ecology and Environment*, 10: 135-143.
- Liebold, A.M. Kean, J.M., 2019. Eradication and containment of non-native forest insects: successes and failures. *Journal of Pest Science*, 92: 83-91.
- Macleod, M.J., Pautasso, M., Jeger, M.J., Haines-Young, R., 2010. Evolution of the international regulation of plant pests and challenges for future plant health. *Food Security*, 2: 49-70.
- Martín, J.A., Sobrino-Plata, J., Roriguez-Calcerrada, J., Collada, C., Gil, L., 2019. Breeding and scientific advances in the fight against Dutch elm disease: Will they allow the use of elms in forest restoration? *New Forests*, 50: 183-215.
- Merkel, H.W., 1905. A deadly fungus on the America chestnut. *New York Zoology Society. 10th Ann. Report*, 97-103.
- Mirabolfathy, M., Ahangaran, Y., Lombard, L., Crous, P.W., 2013. Leaf blight of *Buxus sempervirens* in Northern Forests of Iran caused by *Calonectria pseudonaviculata*. *Plant Disease*, 97: 1121-1121.
- Moreira, A., Martins, J., 2005. Influence of site factors on the impact of *Phytophthora cinnamomi* in cork oak stands in Portugal. *Forest Pathology*, 35: 145-162.
- Morelli, M., García-Madero, J.M., Jos, A., Saldarelli, P., Dongiovanni, C., Kovacova, M., Saponari, M., Baños Arjona, A., Hackl, E., Webb, S., Compant, S., 2021. *Xylella fastidiosa* in olive: A review of control attempts and current management. *Microorganisms*, 9:1771.
- Mota, I., Teixeira-Santos, R., Cavaleiro Rufo, J., 2021. Detection and identification of fungal species by electronic nose technology: a systematic review. *Fungal Biology Reviews*, 37: 59-70.
- New York Department of Environmental Conservation. 2020. What does an oak wilt quarantine district mean for you? New York State Department of Environmental Conservation. pp. 2 www.dec.ny.gov/docs/lands_forests_pdf/owquarantinefs.pdf [Accessed: 14.06. 2024].
- Nordström, I., Sherwood, P., Bohman, B., Woodward, S., Peterson, D.L., Niño Sánchez, J., Sanchez Gomez, T., Diez, J.J., Cleary, M., 2022. Utilizing volatile organic compounds for early detection of *Fusarium circinatum*. *Scientific Reports*, 12: 21661.
- O'Brien, P.A., St J. Hardy, G E., 2014. *Phytophthora cinnamomi* in Western Australia. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 97: 47-55.
- Ormsby, M., Brenton-Rule, E., 2017. A review of global instruments to combat invasive alien species in forestry. *Forest Invasions*, 19: 2255-2264.
- Oskay, F., Tunali, Z., Lehtijärvi, A.T., Doğmuş-Lehtijärvi, H.T., Woodward, S., Mullett, M., 2020a. Distribution and genetic diversity of *Dothistroma septosporum* in *Pinus brutia* forests of South-Western Turkey. *Plant Pathology*, 69: 1551-1564.
- Oskay, F., Laas, M., Mullett, M., Lehtijärvi, A., Doğmuş-Lehtijärvi, H.T., Woodward, S., Drenkhan, R., 2020b. First report of *Lecanosticta acicola* on pine and non-pine hosts in Turkey. *Forest Pathology*, 50: e12654.
- Panconesi, A., 1999. Canker stain of plane trees: A serious danger to urban plantings in Europe. *Journal of Plant Pathology*, 81: 3-15.
- Panconesi, A., 1981. *Ceratocystis fimbriata* of plane trees in Italy: biological aspects and control possibility. *European Journal of Forest Pathology*, 11: 385-395.
- Panzavolta, T., Bracalini, M., Benigno, A., Moricca, S., 2021. Alien invasive pathogens and pests harming trees, forests, and plantations: Pathways, global consequences and management. *Forests*, 12: 1364.
- Peace, T., 1960. The status and development of elm disease in Britain. *Forestry Commission Bulletin*, 33: 44.
- Piotrowska, M.J, Riddell, C., Hoebe, P.N., Ennos, R.A., 2017. Planting exotic relatives has increased the threat posed by *Dothistroma septosporum* to the Caledonian pine populations of Scotland. *Evolutionary Applications*, 11: 350-363.
- Potter, C., 2013. A neoliberal biosecurity. In: *Biosecurity* (Ed: Dobson A., Barker, K., Taylor, S.L.). E-book ISBN: 9780203113110. pp. 13.
- Puertolas, A., Bonants, P.J., Boa, E., Woodward, S., 2021. Application of real-time PCR for the detection and quantification of oomycetes in ornamental nursery stock. *Journal of Fungi*, 7: 87.
- Rands, R.D., 1922. Stripe canker of cinnamon caused by *Phytophthora cinnamomi* n. sp. *Mededelingen van het Instituut voor Plantenziekten*, 54: 41.
- Reeksting, B.F., Taylor, N., Van den Berg, N., 2014. Flooding and *Phytophthora cinnamomi*: effects on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in shoots of non-grafted *Persea americana* Mill. root-stocks differing in tolerance to *Phytophthora* root rot. *South African Journal of Botany*, 95: 40-53.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions*, 6: 93-107.
- Rodrigues, J.M., Sousa, E., Abrantes, I., 2015. Pine Wilt Disease: a historical overview. In: *Pine Wilt Disease in Europe: Biological Interactions and Integrated Management*. (Ed: Sousa, E., Vale, F., Abrantes, I.) FNAPF, Lisboa. pp.13-32.
- Santini, A., Ghelardini, L., De Pace, C., Desprez-Loustau, M. L., Capretti, P., Chandelier, A., Cech, T., Chira, D., Diamandis, S., Gaitniekis, T., Hantula, J., Holdenrieder, O., Jankovsky, L., Jung, T., Jurc, D., Kirisits, T., Kunca, A., Lygis, V., Malecka, M., Marçais, B., Schmitz, S., Schumacher, J., Solheim, H., Solla, Santini, A., Szabo, I., Tsopelas, P., Vannini, A. A., Vettraino, A. M. , Webber, J., Woodward, S., Stenlid, J., 2013. Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197: 238-250.
- Santini, A., Faccoli, M., 2015. Dutch elm disease and elm bark beetles: A century of association. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 8: 126.
- Santini, A., Liebold, A., Migliorini, D., Woodward, S., 2018. Tracing the role of human civilization in the globalization of plant pathogens. *The ISME Journal*, 12: 647-652.
- Santini, A., Battisti, A., 2019. Complex insect-pathogen interactions in tree pandemics. *Frontiers in Physiology*, 10: 550.
- Scanu, B., Linaldeddu, B.T., Franceschini, A., Anselmi, N., Vannini, A., Vettraino, A.M., 2013. Occurrence of *Phytophthora cinnamomic* in cork oak forests in Italy. *Forest Pathology*, 43: 340-343.
- Sherwood, P., Nordström, I., Woodward, S., Bohman, B., Cleary, M., 2024. Detecting pathogenic *Phytophthora* species using volatile organic compounds. *Molecules*, 29: 1749.

- Sniezko, R., Koch, J., 2017. Breeding trees resistant to insects and diseases: putting theory into application. *Biological Invasions*, 19: 3377-3400.
- Stevenson, A.B., 1970. Strains of the grape *phylloxera* in Ontario with different effects on the foliage of certain grape cultivars. *Journal of Economic Entomology*, 63:135-138.
- Stukenbrock, E.H., Banke, S., McDonald, B.A., 2008. The origins of plant pathogens in agro-ecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 46: 75-100.
- Stuthman, D.D., Leonard, K.J., Miller-Garvin, J., 2007. Breeding crops for durable resistance to disease. *Advances in Agronomy*, 95: 319-367.
- Tsopelas, P., Angelopoulos, A., 2004. First report of canker stain disease on plane trees, caused by *Ceratocystis fimbriata* f. sp. *platani* in Greece. *Plant Pathology*, 53: 531.
- Tsopelas, P., Soulioti, N., 2011. New records on the spread of canker stain disease in natural ecosystems of oriental plane in Peloponnese and Epirus, Greece. In: Proceedings of the 15th National Forestry Congress, 16-19 October 2011. Karditsa, Greece (in Greek, English summary).pp. 350-359
- Tsopelas, P., Palavouzis, S., Tzima, A.K., Tsopelas, M.A., Soulioti, N., Paplomatas, E.J., 2015. First report of *Ceratocystis platani* in Albania. *Forest Pathology*, 45: 433-436.
- Tsopelas, P., Santini, A., Wingfield, M.J., de Beer, Z.W., 2017. Canker stain: a lethal disease destroying iconic plane trees. *Plant Disease*, 101: 645-658.
- Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Moore, D.A., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A., 1964. *Flora Europaea*, Vol. 1. Cambridge University Press, London.
- Van der Nest, A., Wingfield, M.J., Janoušek, J., Barnes, I., 2019. *Lecanosticta acicola*: a growing threat to expanding global pine forests and plantations. *Molecular Plant Pathology*, 20: 1327-1364.
- Vannini, A., Vettraino, A.M., 2001. Ink disease in chestnuts: impact on the European chestnut. *Forest Snow and Landscape Research*, 76: 345-350.
- Verhoeven, M., 2011. The birth of a concept and the origins of the neolithic: a history of prehistoric farmers in the near east. *Paléorient*, 37: 75-87.
- Verma, G., Kumar, M., Gupta, A., Bhattacharya, S., 2022. Electronic Nose: Pathway to Real-Time Gas Sensing Paradigm. In: *Gas Sensors, Manufacturing, Materials, and Technologies* (Ed: Gupta, A., Kumar, M., Kumar Singh R., Bhattacharya, S.) eBook ISBN: 9781003278047, 15pp.
- Wagener, W.W., 1928. *Coryneum* canker of cypress. *Science*, 67: 584-584.
- Wallin, H., Schroeder, M., Kvamme, T., 2013. A review of the European species of *Monochamus* Dejean, 1821 (Coleoptera, Cerambycidae) - with a description of the genitalia characters. *Norwegian Journal of Entomology*, 60: 11-38.
- Wells, J.M., Raju, B.C., Hung, H.Y., Weisburg, W. G., Mandelco-Paul, L., Brenner, D.J., 1987. *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov.: Gram-negative, xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 37: 136-143.
- Will, G.M., 1964. Dry matter production and nutrient uptake by *Pinus radiata* in New Zealand. *Commonwealth Forestry Review*, 43: 57-70.
- Wingfield, M.J., Hammerbacher, A., Ganley, R.J., Steenkamp, E.T., Gordon, T.R., Wingfield, B.D., Coutino, T.A., 2008. Pitch canker caused by *Fusarium circinatum* a growing threat to pine plantations and forests worldwide. *Australasian Plant Pathology*, 37: 319-334.

The first record and occurrence of microsporidian pathogen, *Chytridiopsis* cf. *typographi* (Microspora) in *Pityokteines curvidens* (Coleoptera, Curculionidae) populations in Türkiye

Mustafa Yaman^{a,*} , Tuğba Sağlam Güvendik^a 

Abstract: *Pityokteines curvidens* is one of the most damaging bark beetles to coniferous trees, especially fir and it may cause significant tree death in Türkiye. Control methods are insufficient to control the pest due to its biology under tree bark. Entomopathogens can play a suppressive role on natural populations of pest insects. In the present study, the occurrence of *Chytridiopsis typographi*, the microsporidian pathogen of *P. curvidens* is presented for the Bolu region during four years. A total of 1.366 *P. curvidens* adult samples were dissected and searched for the microsporidian pathogen during the study. The first infection was found in *P. curvidens* adult samples collected in 2009 with a 1.6% infection rate. After 2009, the infection was also observed in the years, 2020 and 2021 as 0.8 and 3.6%, respectively. The infection ranged from 0.8 to 3.6%. The results of our study show that *C. typographi* has established a relatively stable infection in the *P. curvidens* populations over the last decade. This is the first study to show the occurrence of an entomopathogenic microsporidium in *P. curvidens* populations in Türkiye.

Keywords: *Chytridiopsis typographi*, *Pityokteines curvidens*, Bolu, Türkiye

Türkiye’de *Pityokteines curvidens* (Coleoptera, Curculionidae) popülasyonlarında microsporidian patojen *Chytridiopsis* cf. *typographi* (Microspora)’nın varlığı ve ilk kaydı

Öz: *Pityokteines curvidens*, başta köknar olmak üzere iğne yapraklı ağaçlara en çok zarar veren kabuk böceklerinden biridir ve Türkiye’de önemli ağaç ölümlerine neden olabilmektedir. Zararlı ağaç kabuğu altındaki biyolojisi nedeniyle mücadele yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Entomopatojenler zararlı böceklerin doğal popülasyonları üzerinde baskılayıcı bir rol oynayabilir. Bu çalışmada, *P. curvidens*’in microsporidian patojeni *Chytridiopsis typographi*’nin Bolu bölgesinde dört yıl boyunca varlığı izlenmiştir. Çalışma sırasında toplam 1.366 adet *P. curvidens* ergin örneği disekte edilerek microsporidian patojeni arandı. İlk enfeksiyon, 2009 yılında toplanan *P. curvidens* ergin örneklerinde % 1,6 enfeksiyon oranıyla bulundu. 2009’dan sonra enfeksiyon oranı 2020 ve 2021 yıllarında da sırasıyla % 0,8 ve % 3,6 olarak görüldü. Enfeksiyon % 0,8 ile % 3,6 arasında gözlemlendi. Çalışma sonuçları, *C. typographi*’nin son on yılda *P. curvidens* popülasyonlarında nispeten stabil bir enfeksiyon oluşturduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Türkiye’deki *P. curvidens* popülasyonlarında entomopatojenik bir microsporidian’ın varlığını gösteren ilk çalışmadır.

Anahtar kelimeler: *Chytridiopsis typographi*, *Pityokteines curvidens*, Bolu, Türkiye

1. Introduction

Bark beetles (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) are distributed worldwide. Several bark beetle species known as important forest pests cause damage by attacking living coniferous and broad-leaved tree species trees when outbreaks occur. Natural enemies are important in limiting species distributions and pest status. Bark beetles have a large group of natural enemies (Ünal and Yüksel, 2005; Sarıkaya and Avcı, 2009; Wegensteiner et al., 2015). The occurrence and action of natural enemies of bark beetles are reviewed by Wegensteiner et al. (2015) recently. Among them, entomopathogens contribute to the natural regulation of insect populations. Their roles in pest populations stimulate scientists to study their occurrence in bark beetle populations. They play an important suppressive role in natural

populations of bark beetles. Entomopathogens in bark beetles include viruses (especially entomopoxviruses), bacteria, fungi, microsporidia, protozoa, and nematodes.

Among the entomopathogenic organisms, Microsporidia generally has a diverse host range. However, some microsporidia can infect a rather restricted host range. Entomopathogenic microsporidia can have toxic effects on their hosts by reducing longevity and fertility (Becnel and Andreadis, 2014; Seatamanoch et al., 2022). *Chytridiopsis typographi* Weiser, 1954, the microsporidian pathogen of bark beetles, has been recorded from several bark beetle hosts (Wegensteiner et al., 2015). *C. typographi* was recorded from *Ips acuminatus* in Türkiye for the first time (Yaman et al., 2016). After that, there has been no any record from bark beetles.

✉ ^a Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Bolu Abant İzzet Baysal University, 14030 Bolu, Turkey

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): muyaman@hotmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 21.05.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 03.10.2024



Citation (Atf): Yaman, M., Sağlam Güvendik, T., 2024. The first record and occurrence of microsporidian pathogen, *Chytridiopsis* cf. *typographi* (Microspora) in *Pityokteines curvidens* (Coleoptera, Curculionidae) populations in Türkiye. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 380-382.
DOI: [10.18182/tjf.1487855](https://doi.org/10.18182/tjf.1487855)

Pityokteines curvidens is one of the most damaging bark beetles to coniferous trees, especially fir and it may cause significant tree death in Türkiye (Sarıkaya and Avcı, 2011; Yüksel and Öztük, 2022; Sivrikaya et al., 2023). It causes serious economic losses in forest areas. For example, approximately 38 thousand cubic meters of wood raw material were damaged due to *P. curvidens* in Bartın Forestry Enterprise between 2008 and 2012 (Güngör and Daşdemir, 2014). *P. curvidens* was reported as one of the fir bark beetles that caused effective damage in the fir forests of Bolu and Aladağ Forestry between 2002-2003 (Serin et al., 2005). There is not any study on the natural enemies of *P. curvidens* in the Bolu region. In the present study, the occurrence of *Chytridiopsis typographi*, the microsporidian pathogen of *P. curvidens* is presented for the Bolu region during four years. This is the first study to show the occurrence of an entomopathogenic microsporidium in *P. curvidens* populations in Türkiye.

2. Materials and methods

A long-term and patient sampling study was designed to determine the presence of the microsporidian pathogen in *P. curvidens* populations. Adult beetles were collected from pheromone traps as much as possible with a random sampling in the area between Aladağlar and Abant in Bolu. For this, the first sampling was done in 2009 and after a waiting period of 10 years, the sampling process was repeated for three consecutive years, from 2020 to 2022. After each sampling, adult beetles were dissected in a drop of physiological water (0.8%) on a microscope slide, and wet smears were examined for the presence of the microsporidian infection under a light microscope at a magnification of 200–1000 × (Yaman and Radek, 2017). Midgut epithelium was the main target organ to examine for the presence of the pathogen. When infection was found, the slides were air-dried and fixed with methanol, then stained with a freshly prepared 5% solution of Giemsa stain. They were then washed in running tap water, air-dried, and re-examined under the microscope. Detected spores were measured and photographed using an Optika B-293PLi microscope with a digital camera and Optika Proview Digital Camera Software. The data of fresh oocysts are presented as mean values ± standard deviation.

Diagnosis of the microsporidium was carried out according Weiser (1969) and Wittner and Weiss (2000). Giemsa-stained slides are deposited at BAİBÜ-Insect Pathology and Biological Control Laboratory.

3. Results and discussion

After the dissection of the infected adults of *P. curvidens*, their guts were examined for pathogen infections. Thick-walled cyst-like sporophorous vesicles in the host's midgut epithelium are evidence for the presence of the microsporidian pathogen, *C. typographi* (Figure 1). The infection was visible due to unique thick-walled cysts. Thick-walled cysts were regularly spherical in shape (Figure 1).

A total of 1.366 *P. curvidens* adult samples were dissected and searched for the microsporidian pathogen, *C. typographi* in Bolu region during the study. The infection ranged from 0.8 to 3.6%. The first infection was found in *P. curvidens* adult samples collected in 2009 with a 1.6% infection rate. After 2009, the infection was also observed in the years, 2020 and 2021 as 0.8 and 3.6%, respectively.

However, no infection was observed in 2022. It is known that climatic conditions are the main factors affecting microsporidian infections in insect populations (Yaman and Radek, 2020). Considering that the infection rate in previous years was low in the populations, it is thought that the infected individuals in that year could not fly to the pheromone traps because they could not withstand the hard winter conditions and died. Twenty of the examined beetles were infected by the pathogen (Table 1), and the total infection rate was found as 1.5%. The results of our study show that *C. typographi* has established a relatively stable infection in the *P. curvidens* populations over the last decade.

C. typographi generally causes infection at different rates in bark beetles. Haidler et al. (2003) searched the microsporidian infections in different bark beetle species and found that *C. typographi* occurs in 7.7% of *Hylurgops cunicularius*, 0.5% in *H. glabratus*, 11.4% in *Pityogenes pityographus*, 2% *P. chalcographus*, 16.6% in *Ips typographus*, 15.9% in *I. aminitus* in Austrian forest. Weiser (1969) found 2% infection in the Douglas Fir Beetle, *Dendroctonus pseudotsugae*. Purrini and Weiser (1982) found a considerable infection rate, of 20% in the population of the bark beetle, *Hylastes cunicularius*. Pernek et al. (2009) found 5.6% in *P. curvidens* in Croatia. Yaman et al. (2016) found 0.9% in *Ips acuminatus* in Turkey. According to those results, it can be stated that *C. typographi* is a more generalist species found in different bark species as mentioned before by Pernek et al. (2009). On the other hand, Wegensteiner and Weiser (1996) observed the frequency of *C. typographi* in an *Ips typographus* laboratory stocks during six generations and found that 3.2% *C. typographi*-infection in the beetles of the parental generation increased up to 52.5% in the F2-generation and 49.6% in the F3-generation, decreased to 27.9% in the F4-generation and 10.6% in the F5-generation and then increased again in the F6-generation.

On the other hand, although another microsporidian pathogen, *Nosema curvidentis* infects *P. curvidens* (Weiser, 1961) we observed only *C. typographi* infection in *P. curvidens* populations in Bolu region. Up to now, there is no microsporidian record from *P. curvidens* populations in Türkiye. In this study, *C. typographi* is recorded from *P. curvidens* populations in Türkiye for the first time.

4. Conclusions

C. typographi generally causes infection at different rates in bark beetles. However, there is no record from bark beetles in Türkiye. This is the first study to show the occurrence of an entomopathogenic microsporidium in *P. curvidens* populations in Türkiye. The results of our study show that *C. typographi* has established a relatively stable infection in the *P. curvidens* populations over the last decade.

Table 1. Infection of *Chytridiopsis* cf. *typographi* in *Pityokteines curvidens* populations in Bolu region.

Sampling year	Number of examined beetles	Number of infected beetles	Infection rate (%)
2009	320	5	1.6
2020	391	3	0.8
2021	330	12	3.6
2022	325	-	0
Total	1.366	20	1.5



Figure 1. Cyst of *Chytridiopsis cf. typographi* in *Pityokteines curvidens*

References

- Becnel, J. J., Andreadis, T. G., 2014. Microsporidia in insects. In: Microsporidia: Pathogens of Opportunity (Eds: Weiss, L.M., Becnel, J.J.), John Wiley & Sons, Oxford, UK, pp. 521–570.
- Güngör, E., Daşdemir, İ., 2014. Bartın yöresi ormanlarında büyük göknar kabuk böceği (*Pityokteines curvidens* Germ.) zararlısının ekonomik etkileri. Türkiye II. Orman Entomolojisi ve Patolojisi Sempozyumu, 10-12 Mayıs, Antalya, s. 179-196.
- Haidler, B., Wegensteiner, R., Weiser, J., 2003. Occurrence of microsporidia and other pathogens in associated living spruce bark beetles (Coleoptera:Scolytidae) in an Austrian forest. Insect Pathogens Parasitic Nematodes, 26(1): 257-260.
- Pernek, M., Matošević, D., Hrašovec, B., Kućinić, M., Wegensteiner, R., 2009. Occurrence of pathogens in outbreak populations of *Pityokteines* spp. (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) in silver fir forests. Journal of Pest Science, 82: 343–349.
- Purrini, K., Weiser, J., 1982. Light and electron microscopic studies of *Chytridiopsis typographi* (Weiser 1954) Weiser 1970 (Microspora), Parasitizing the Bark Beetle *Hylastes cunicularius*. Zoologischer Anzeiger, 212: 369-376.
- Sarıkaya, O., Avcı, M., 2009. Predators of Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae) species of the coniferous forests in the Western Mediterranean region, Turkey. Turkish Journal of Entomology, 33(4): 253-264.
- Sarıkaya, O., Avcı, M., 2011. Türkiye göknar ormanlarında yeni bir tür: *Pityokteines marketae* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). Orman Mühendisliği Dergisi, 43(1-2-3): 26-27.
- Serin, M., Erdem, M., Yüksel, B., Akbulut, S., 2005. Bolu ve Aladağ Orman İşletmesi Gökmar (*Abies bornmulleriana* Mattf.) Ormanlarında Etkin Zarar Yapan Kabuk Böceklerinin Yaşam Döngülerinin Belirlenmesi ve Bunlara Karşı Alınabilecek Önlemlerin Araştırılması. T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, Batı Karadeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten, No: 12, Bolu.
- Sivrikaya, F., Özcan, G.E., Enez, K., 2023. Predicting the susceptibility to *Pityokteines curvidens* using GIS with analytical hierarchy process and, maximum entropy models in fir forests. In: Analytic Hierarchy Process- Models, Methods, Concepts and Applications (Eds: Petrillo, A., De Felice, F), BoD-Books on Demand, IntechOpen.
- Seatamanoch, N., Kongdachalert, S., Sunantaraporn, S., Siriyaasatien, P., Brownell, N., 2022. Microsporidia, a highly adaptive organism and its host expansion to humans. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 12:924007. doi: 10.3389/fcimb.2022.924007.
- Ünal, S., Yüksel, B., 2005. Bark beetles damaging on Oriental spruce forests with predators and parasitoids. Spruce Symposium, 19-22 Ekim, Trabzon, pp. 278-288.
- Wegensteiner, R., Weiser, J., 1996. Occurrence of *Chytridiopsis typographi* (Microspora, Chytridiopsida) in *Ips typographus* L. (Col.,Scolytidae) field populations and in a laboratory stock. Journal of Applied Entomology, 120: 595-602.
- Wegensteiner, R., Wermelinger, B., Herrman, M., 2015. Natural enemies of bark beetles: Predators, parasitoids, pathogens and nematodes. In: Bark beetles biology and ecology of native and invasive species (Ed: Vega F.E., Hofstetter, R.), Academic Press, New York, pp. 247-304.
- Weiser, J., 1954. Contribution to the knowledge of the pathogens of the bark beetle *Ips typographus* L.- Czech, German summary. Věstník Československé Společnosti Zoologické, 18, 217–224.
- Weiser, J., 1961. A new microsporidian from the dark beetle *Pityokteines curvidens* Germar (Coleoptera, Scolytidae) in Czechoslovakia. Journal of Insect Pathology, 3: 324-329.
- Weiser, J., 1969. Three new pathogens of the douglas fir beetle, *Dendroctonus pseudotsugae*: *Nosema dendroctoni* n.sp., *Ophryocystis dendroctoni* n. sp., and *Chytridiopsis typographi* n. comb. Journal Invertebrate Pathology, 16: 436-441.
- Wittner, M., Weiss, L.M., 2000. The Microsporidia and Microsporidiosis. ASM- Press, Washington.
- Yaman, M., Algi, G., Güner, B.G., Ünal, S., 2016. Survey of pathogens and parasites of the engraver beetle, *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in Turkey. Acta Zoologica Bulgarica, 68(1):127-130.
- Yaman, M., Radek, R., 2017. *Ophryocystis anatoliensis* sp. nov., a new neogregarine pathogen of the chrysomelid beetle *Chrysomela populi*. European Journal of Protistology, 59:26–33.
- Yaman, M., Radek, R., 2020. Transmission of *Microsporidium* sp. between different generations of *Crepidopdera aurata* (Coleoptera: Chrysomelidae). Turkish Journal of Zoology, 44:248-253.
- Yüksel, B., Öztürk, N., 2022. Türkiye’de büyük göknar kabuk böceği *Pityokteines curvidens* (Germ.) zararlısının mavi ladin (*Picea pungens* Engelm.) türünde ilk kaydı. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 24 (1): 25-31.

Aydın ili Karacasu ilçesi Taşoluk doğal merasının vejetasyon özellikleri ve ot veriminin belirlenmesi

Haydar Can Kirazlı^a, Ahmet Alper Babalık^{b,*}

Öz: Bu araştırma, Aydın ili Karacasu ilçesinde yer alan ortalama 1550 metre rakıma ve %22 eğime sahip Taşoluk doğal merasında 2022 yılı vejetasyon döneminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada doğal mera alanının bitki örtüsü özellikleri incelenmiştir. Vejetasyon ölçümlerinde lup ve kuadrat yöntemleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda mera alanında 37 familyaya ait 147 adet bitki taksonu tespit edilmiştir. En çok taksona sahip familyalar sırasıyla 17 takson ile Asteraceae, 13 takson ile Lamiaceae ve 9 takson ile Poaceae olarak saptanmıştır. Çalışma sahasının bitkiyle kaplı alan değeri %44 olarak belirlenmiştir. Mera alanının botanik kompozisyonunun %44.79'unu buğdaygiller, %31.23'ünü baklagiller ve %23.98'ini diğer familyalar oluşturmaktadır. Mera alanının topraküstü biyokütle miktarı 302.02 kg/da, toprakaltı biyokütle miktarı ise 322.80 kg/da olarak belirlenmiştir. Otlama kapasitesi 59.88 BBHB ve mera durumu ise orta olarak tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, doğal mera alanında yoğun otlama baskısının mevcut olduğunu ve mera vejetasyonunun zarar gördüğünü göstermektedir. Bu durum, doğal meraların ıslah edilmesi ve uygun iyileştirme yöntemlerinin uygulanması yoluyla otlama baskısının azaltılması ve toprağı erozyona karşı koruyan kaliteli bitki örtüsünün artırılması gereğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Taşoluk doğal merası, Biyokütle, Botanik kompozisyon, Otlama kapasitesi

Determination of vegetation characteristics and hay yield of Taşoluk natural pasture in Aydın province Karacasu district

Abstract: This research was carried out in the Taşoluk natural pasture with an average altitude of 1550 meters and an average slope of 22%, located in the Karacasu district of Aydın province, during the 2022 vegetation period. In the study, the vegetation characteristics in the natural pasture area were examined. Vegetation measurements were done by using loop and quadrat methods. As a result of the research, 147 taxa belonging to 37 families were identified in the pasture area. The families with the most taxa were Asteraceae with 17 taxa, Lamiaceae with 13 taxa and Poaceae with 9 taxa, respectively. The plant-covered area value of the study area was determined as 44%. In addition, 44.79% of the botanical composition of the pasture area consists of poaceae, 31.23% of fabaceae and 23.98% of other families. The above-ground biomass amount of the pasture area was determined as 302.02 kg/da, and the below-ground biomass amount was determined as 322.80 kg/da. Grazing capacity was determined as 59.88 animal units and pasture condition was determined as medium. Research results show that there is intense grazing pressure in the natural pasture area and the pasture vegetation is damaged. This situation reveals the need to reduce grazing pressure and increase quality vegetation cover that protects the soil against erosion by improving natural pastures and applying appropriate improvement methods.

Keywords: Taşoluk naturel pasture, Biomass, Botanical composition, Grazing capacity

1. Giriş

Çayır ve meralar, doğrudan veya dolaylı olarak insanoğluna yarar sağlayan yeryüzündeki dört önemli vejetasyon tipinden birini oluşturmaktadır. Meralar, genellikle engebeli araziler olup taban suyu oldukça derindedir. Bu alanlar, üzerinde yetişen otsu vejetasyondan hayvanların otlatılarak yararlandığı doğal kaynaklardır. Meralar, "hayvanların otlamasına ve otundan faydalanmaya ayrılan veya önceden bu amaçlar için kullanılan arazi" şeklinde Mera Kanunu'nda tanımlanmaktadır (TKİB, 1998).

Meraların, insanlığın ekonomik, sosyal ve kültürel yaşamının her döneminde önemli bir rolü olmuştur. Antartika dışındaki her kıtada yer alan ve çayır ile diğer otsu bitkilerin yayılış gösterdiği açık ve geniş alanlar olarak

ifade edilen meralar, bitki örtüsü tiplerinin en büyüklerinden birini oluşturmaktadır. Bu bölgeler, dünya nüfusunun artmasıyla birlikte insanların beslenmesinde kritik bir rol oynamakta olup hayvansal ürünler açısından da hayati bir öneme sahiptir (Sabancı, 2012).

Dünya üzerinde bulunan karaların hemen hemen %24'lük kısmını kapsayan çayır ve meralar (Lauenroth, 1979), hayvanlar için gereken yem miktarının büyük bir bölümünü karşılamaktadır. Ayrıca bu bölgelerin toprak ve su koruma konusunda da kritik görevleri mevcuttur. Hem kurak hemde yarı kurak bölgelerde yoğun olarak bulunan mera ekosistemleri, otlamaya yönelik önemli ölçüde hassas bölgelerdir. Bu alanların karakteristiklerini kaybetmesi durumunda kendilerini yenilemeleri için gerekli olan süre, genellikle bir insanın

^a Torbalı Orman Fidanlık Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): alperbabalik@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 26.08.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 24.11.2024



Citation (Atıf): Kirazlı, H.C., Babalık, A.A., 2024. Aydın ili Karacasu ilçesi Taşoluk doğal merasının vejetasyon özellikleri ve ot veriminin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 383-389.

DOI: [10.18182/tjf.1538881](https://doi.org/10.18182/tjf.1538881)

ömründen daha uzun olabilmektedir (Herbel ve Pieper, 1991).

Çayır ve meralar, Türkiye'deki arazilerin %18,8'ini oluşturmakla birlikte bu alanların da yaklaşık %85'i yarı kurak iklim bölgelerinde bulunmaktadır (Gökkuş, 2001; Altın vd., 2011).

Türkiye'deki hayvancılık yaklaşık 19 milyon hayvan birimine tekabül etmekte olup, kuru ot bazında yıllık kaba yem ihtiyacı 86 milyon ton civarındadır. Ancak mevcut üretimi bu ihtiyacı tam anlamıyla karşılayamamaktadır. Ülkemizde çayır ve meralardan elde edilen kuru ot üretimi 31 milyon tondur. Bu durum, kaliteli kaba yem açığının yaklaşık 55 milyon ton olduğunu göstermektedir (Ak, 2013; Acar vd., 2020).

Türkiye'deki mera alanları kaliteli kaba yem kaynağı olmasına rağmen zamanından önce otlatılmaya başlanması ve mevcut kapasitesinden daha fazla otlatma yapılması sebebiyle bu alanların verimlilikleri azalmaktadır. Bu ve benzeri yanlış uygulamalar sonucunda meraların doğal bitki örtüleri kaybolmakta ve bu alanların erozyon riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Sayar vd., 2015; Babalık ve Sarıkaya, 2015).

Bu çalışmanın temel amacı, Aydın ili Karacasu ilçesi Taşoluk doğal merasında bulunan bitki taksonlarını, toprak kaplama durumunu, meranın ot verimini, botanik kompozisyonunu ve otlatma kapasitesini belirlemektir. Ayrıca bu çalışma hayvancılık bakımından meraların büyük bir önem taşıdığı bu gibi bölgelerdeki meralarda alınması gereken önlemleri değerlendirmeyi hedeflemektedir.

2. Materyal ve yöntem

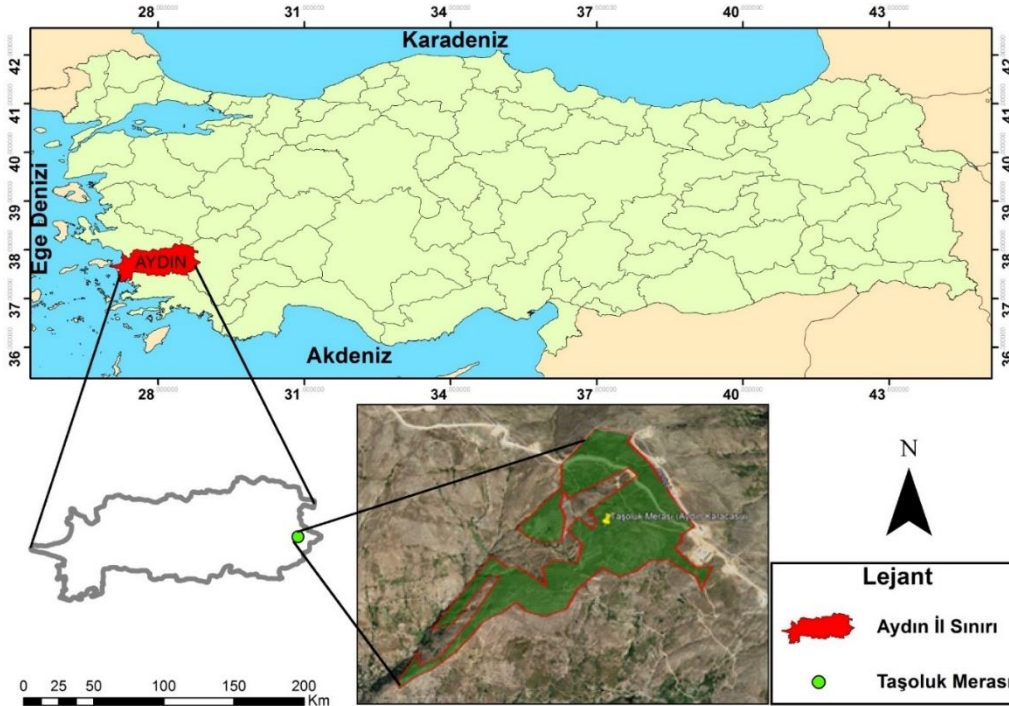
2.1. Materyal

Araştırma Aydın ili Karacasu ilçesi Yeniköy mahallesi sınırlarında bulunan ortalama 1550 metre rakıma ve %22 eğime sahip Taşoluk merasında (37° 45' 44" K, 28° 50' 24" D) 2022 yılı vejetasyon dönemi içerisinde yürütülmüştür. Çalışma alanı yaklaşık 107 ha olup, Aydın merkeze yaklaşık 88 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 1).

Bitki coğrafyası olarak Akdeniz flora bölgesinde bulunan çalışma alanı, Davis (1964-1985)'in belirlediği kareleme sistemi kapsamında 38-40 kuzey paralelleri, 28-30 doğu boylamları arasında yer alan C2 karesinin üst kuzey bölgesinde bulunmakta ve Babadağ'ın batı bakışında yer almaktadır.

Çalışmanın yürütüldüğü mera alanı, üzerinde bulunduğu Babadağ'ın sırtında yer alıp orta eğimli bir arazi yapısına sahiptir. Mera alanının bulunduğu en düşük rakım 1290 m, en yüksek rakım ise 1817 m olarak bulunmuştur. Çalışma alanı Aydın ili ile Denizli ilinin kesiştiği noktada bulunmakla beraber kuzey bakışı Babadağ ilçesine bakan vadilere, güney ve güneybatı bakışı Yeniköy ilçesine bakan engebeli bir yapıya sahiptir.

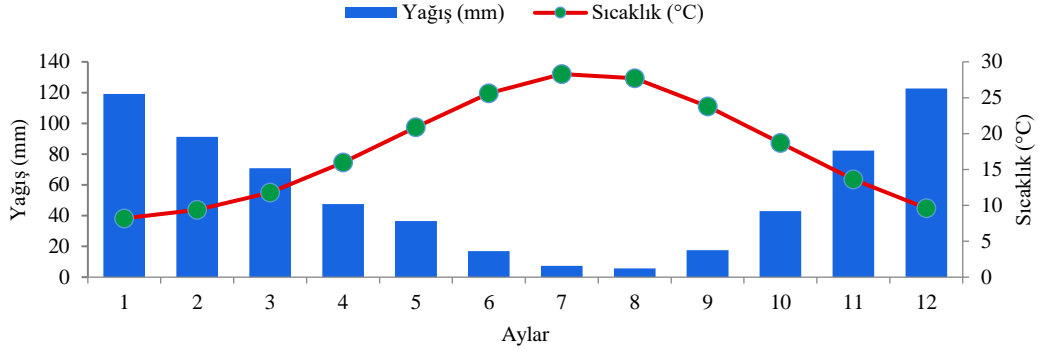
Aydın ili Karacasu ilçesi Akdeniz iklimi özelliklerini göstermesiyle birlikte, rakımın nispeten yüksek olması sebebiyle Aydın ilinin diğer ilçelerine göre kış mevsimi soğuk, yaz mevsimi ise nispeten serin ve kurak geçen bir iklime sahiptir. Bitki gelişimini etkileyen en önemli iklim unsurlarından aylık yağış toplamı (mm) ile ortalama sıcaklık (°C) değerlerine ait 2022 yılı ve 1941-2023 yılları arasındaki Aydın ili meteoroloji istasyonu verileri (MGM, 2023) Çizelge 1'de, uzun yıllar ortalamasına (1941-2023) ilişkin Walter iklim diyagramı ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Taşoluk merasının konumu
Figure 1. Location of Taşoluk pasture

Çizelge 1. 2022 yılı ile uzun yıllar ortalamasına (1941-2023) ilişkin bazı meteorolojik veriler
Table 1. Some meteorological data for 2022 and the long-term average (1941-2023)

Yıllar	Aylar												Toplam/ Ortalama
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık ortalama sıcaklık (°C)													
2022	7.4	9.9	8.7	18.0	22.6	27.0	30.1	28.9	25.1	20.5	15.5	12.4	18.8
1941-2023	8.2	9.4	11.8	16.0	20.9	25.6	28.3	27.7	23.8	18.7	13.6	9.6	17.8
Aylık toplam yağış miktarı (mm)													
2022	122.7	70.7	60.4	17.7	15.9	76.3	0.1	1.5	1.2	0.7	81.8	68.0	517.0
1941-2023	119.1	91.3	70.8	47.6	36.5	16.9	7.4	5.6	17.6	43.0	82.3	122.6	660.7



Şekil 2. Uzun yıllar ortalamasına (1941-2023) ilişkin Walter iklim diyagramı
Figure 2. Walter climate diagram for the long-term average (1941-2023)

İl merkezinin uzun yıllar sıcaklık ortalaması 17.8°C'dir. İlin aylık uzun yıllar ortalama sıcaklığının en yüksek olduğu ay 28.3°C ile temmuz ayı, en düşük olduğu ay 8.2°C ile ocak ayıdır. Çalışmanın yürütüldüğü 2022 yılında sıcaklık ortalaması 18.8°C olmuştur. Aylık ortalama sıcaklığın en yüksek olduğu ay 30.1 °C ile temmuz, en düşük olduğu ay ise 7.4 °C ile yine ocak ayıdır.

Çalışmanın yürütüldüğü 2022 yılının toplam yağış miktarı 517 mm, uzun yıllar toplam yağış miktarı 660.7 mm olarak belirlenmiştir. 2022 yılı içerisinde aylık toplam yağış miktarı ortalamasının en yüksek olduğu ay 122.7 mm ile ocak ayı, en düşük olduğu ay ise 0.1 mm ile temmuz ayı olarak tespit edilmiştir.

Walter iklim diyagramı incelendiğinde, sıcaklıkların yılın en düşük seviyelerinde seyrettiği kış aylarında, yağış miktarları en yüksek düzeylerde bulunmaktadır. Bu durum kış aylarının serin ve yağışlı geçtiğini göstermektedir. Özellikle ocak ve aralık aylarında ortalama sıcaklıklar 8-10 °C civarındayken yağış miktarları ortalama 120 mm olarak belirlenmiştir. İlkbahar aylarında sıcaklıkların yükselmesi ile birlikte yağışlar kademeli olarak azalmaya başlamaktadır. Dolayısıyla ilkbahar ve yaz aylarında hem buharlaşmanın artması hem de yağışların azalması ile birlikte çalışma alanında su açığı oluşmaktadır.

Çalışmanın yürütüldüğü alanı da içerisine alan Karacasu ilçesinin önemli bir kısmı işlemeli tarıma elverişli olan mera vasfındaki araziler ile orman içi açıklıklardan meydana gelmektedir. Çalışma alanının başlıca toprak tipleri; Kahverengi, Kırmızı kahverengi, Kırmızı Akdeniz ve Rendzina topraklarıdır (Oluk, 1999). Çalışma alanının genel toprak yapısı killi balçık tekstür sınıfında yer almakta olup, toprağın kireç miktarı %0.78 ile az kireçli, organik madde miktarı %3.80 ile orta, pH'sı 6.41 ile hafif asitli, tuzluluk 0.01 dS/m ile tuzsuz toprak kategorisindedir.

Babadağ çevresinin gelişimi ve bölgedeki jeotermal imkânlar incelendiğinde, bölgedeki sedimanların

metamorfik temel üzerinde uyumsuz olarak bulunan Tersiyer-Neojen yaşlı kireçtaşı, kiltası, marn, kumtaşı ve konglomeradan meydana geldiği ve bu birimlerin kendi arasında geçişli olduğu görülmektedir. Miyosen çökelleri denizel ve acı su fasiyesinde, Pliyosen çökelleri ise acı sudan tatlı suya değişen bir ortamda gelişmiştir (Öngür, 1971).

2.2. Yöntem

Vejetasyon yapısının belirlenmesi ve vejetasyon özelliklerinin tespit edilmesi için 2022 yılı vejetasyon döneminde mera alanında çeşitli vejetasyon ölçüm metotları kullanılmıştır. Çalışma alanında vejetasyonun nicel yönlerinden olan bitki örtüsüyle kaplı alan ile nitel yönlerinden olan botanik kompozisyon belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmada mera alanının toprakaltı ve topraküstü biyokütle miktarları, otlama kapasitesi ve mera durumu da tespit edilmiştir.

Mera alanının bitki ile kaplı alanını (BKA) belirlemek amacıyla Tetik vd. (2002), Babalık (2004), Altın vd. (2005), Uslu ve Hatipoğlu (2007), Bakoğlu vd. (2021) ile Ok ve Çaçan (2023) gibi araştırmacıların kullandığı lup yöntemi kullanılmıştır. Bitki ile kaplı alanın ölçüm çalışmalarında, bitkilerin dip kaplama alanları temel alınmıştır. Vejetasyon çalışmaları, diğer bitki topluluklarına göre dominant ve iyi gelişim gösteren bitki türlerini dikkate alarak temmuz ayının başında ve sonbahar yağışlarını da dikkate alarak ekim ayının başında gerçekleştirilmiştir. Mera alanında, her biri 100 metre uzunluğunda olan 5 adet lup hattı kullanılarak çalışma yapılmıştır. Lup ölçümleri sırasında her bir hat boyunca bitkilerle kaplı lup alanları belirlenmiştir. Bitki ile kaplı lup sayısı toplam lup sayısına oranlanarak bitki ile kaplı alan değeri hesaplanmıştır.

Vejetasyonu oluşturan bitki taksonları buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalar olarak üç grupta incelenmiştir (Palta ve Yücesoy, 2022). Bu gruplara ait

botanik kompozisyon oranları, bitki ile kaplı alan esasına dayalı olarak belirlenmiştir.

Topraküstü biyokütle (TÜB) değerlerinin belirlenmesi amacıyla kuadrat yöntemi (Çaçan ve Kökten, 2014; Kurt vd., 2015; Çalık ve Polat, 2019) kullanılmış olup, temmuz ve ekim aylarının ilk yarısında her bir lup hattından 5'er adet olmak üzere toplam 25 adet 1 m²'lik kuadrat ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu 1 m²'lik kuadrat içinde kalan tüm bitkiler toprak yüzeyinden biçilerek alınmıştır. Her bir kuadrat örneği biçildikten sonra, önceki yıldan kalan ot, toprak, taş gibi yabancı maddeler temizlenmiş ve sonra laboratuvara taşınmıştır. Çerçeve içerisinde kalan bitkilerin biçilmesinin ardından ağırlıkları sabitlenene kadar kuruması için gölgede bekletilmiş, ardından 24 saat 70 °C'de kurutulup tartılmış ve sonuçlar kg/da olarak saptanmıştır. Botanik kompozisyonu oluşturan üç bitki grubu örneklerinin kuru ağırlıklarının toplamları örnek alandaki kuru ot verimi olarak tespit edilmiştir (Okatan, 1987; Tuna, 2010; Dursun vd., 2023).

Toprakaltı biyokütle (TAB) ölçümünde de 1 m²'lik kuadrat içindeki otlar toprak seviyesinden biçilmiş ve naylon bir torba kullanılarak toplanmıştır. Ardından TAB tespiti için bitki köklerinin zarar görmemesi amacıyla biçilen otlar alınmış ve geride kalan kısım, aktif kök derinliği 20 cm olacak şekilde kazılmıştır. Ardından bitki kökleri toprak ve taşlardan arındırılarak yıkanmıştır. Yıkama işlemi yapıldıktan sonra 24 saat boyunca 70°C'de kurutma ve tartma işlemleri uygulanarak sonuçlar kg/da olarak ifade edilmiştir (Snyman ve Fouche, 1993).

Mera durumunun belirlenmesi için Bakır (1975) tarafından kullanılan skaladan faydalanılmış ve bunun için meranın bitki ile kaplı alan değerleri kullanılmıştır. Taşoluk merasında gerçekleştirilen ölçümler ve laboratuvarında yapılan analizlerden elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla istatistiksel yöntemlerden faydalanılmıştır. Bulgular arasındaki önemli veya önemsiz farklılıklar, bu analizlerin sonuçlarına dayanarak değerlendirilmiştir. Verilerin normal dağılımı "Kolmogorov-Simirnov testi" ile, varyansların homojenliği ise "Levene testi" ile değerlendirilmiştir. Yaz ve sonbahar mevsimlerine göre çeşitli vejetasyon özelliklerinin farklılıkları, istatistiksel olarak önemli olup olmadığı, "Bağımsız örnekleme t-testi" kullanılarak incelenmiştir. Verilerin değerlendirme sürecinde SPSS 20.0 paket programı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Bitki ile kaplı alan

Araştırmanın yürütüldüğü Taşoluk merasında lup yöntemi ile yaz ve güz dönemlerinde yapılan BKA ölçümleri ve elde edilen veriler Çizelge 2'de verilmiştir. BKA miktarı yaz döneminde gerçekleştirilen ölçümlerde %50.60, güz ölçümlerinde %37.40 ve ortalama %44.00 olarak, toprak ve taşlık-kayalık bölümden oluşan boş alan ise ortalama %56.00 olarak saptanmıştır. Mera alanında temmuz ve ekim aylarında gerçekleştirilen BKA ölçümleri arasında %95 güven düzeyinde önemli bir fark belirlenmiştir.

Bitki örtüsü ile erozyon arasında karşılıklı etkileşim bulunduğu ve bitki örtüsünün toprağı tutup koruyarak erozyonu azalttığı kesin bir şekilde gözlemlenmiştir. Ancak, bitki ile kaplı alanın %30'un altına düştüğü durumlarda su erozyonu riski artmakta, %10'un altında ise rüzgâr erozyonu

riski artmaktadır (Marshall, 1973). Araştırma sahasının BKA değerinin (%44.00) %30'un üzerinde bulunması bitki örtüsünün erozyona karşı bir direnç oluşturduğunu ve dolayısıyla çalışma alanında erozyonu azaltıcı bir işleve sahip olduğunu göstermektedir.

Ülkemizin çeşitli yörelerinde yapılan çalışmalara bakıldığında; Babalık (2007)'in Isparta ili Davraz dağı Kozağacı yaylasında yürüttüğü çalışmada BKA değeri %23.1 olarak bulunmuş olup araştırma alanındaki BKA değerinden daha düşük çıkmıştır. Türker (2006)'in Mersin ili Tarsus ilçesinde yürütmüş olduğu çalışmada BKA değeri %47.7, Dursun ve Babalık (2018)'in Isparta ili Çatoluk merasında yapmış olduğu çalışmada BKA %51.20 ve Babalık ve Matrasulov (2020)'un Antalya ili Kemer ilçesi Çukuryayla merasında yapmış olduğu çalışmada %50.42 bulunmuş olup, bu değerler çalışma alanı olan Taşoluk merasındaki BKA değerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun farklı yörelerin meteorolojik ve ekolojik koşulları ile mera alanları üzerindeki otlama baskılarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2. Botanik kompozisyon

Merada yapılan ölçümler sonucunda buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalara ait bitkiler incelenerek BKA'ya göre botanik kompozisyon değerleri ortaya konulmuştur. Familyalara göre botanik kompozisyon ele alındığında; buğdaygillerin yaz ölçümünde %44.66 ve güz ölçümünde %44.92 ile yaklaşık aynı olduğu, baklagiller familyasının yaz ölçümünde %35.18 ve güz ölçümünde %27.27 ile yaz ölçümünün daha fazla olduğu, diğer familyaların yaz ölçümünde %20.16 ve güz ölçümünde %27.81 ile güz ölçümünün daha fazla çıktığı tespit edilmiştir. Mera alanının botanik kompozisyonunda %44.79 ile buğdaygiller familyası ilk sırada bulunurken bu familyayı %31.23 ile baklagiller familyası izlemekte ve en az oranda %23.98 ile diğer familyalar yer almaktadır. Botanik kompozisyon değerleri buğdaygillerin araştırma alanında baskın halde olduğunu ortaya koymaktadır (Çizelge 3).

Çizelge 2. Taşoluk merasının BKA değerleri

Table 2. Plant covered area values of Taşoluk pasture

	Familyalar	BKA (%)	BKA Toplamı (%)
Yaz ölçümü	Buğdaygiller	22.60	50.60
	Baklagiller	17.80	
	Diğer Familyalar	10.20	
	Toprak	27.40	49.40
	Taş-Kaya	22.00	
Toplam	100.00	100.00	
Güz ölçümü	Familyalar	BKA (%)	BKA Toplamı (%)
	Buğdaygiller	16.80	37.40
	Baklagiller	10.20	
	Diğer Familyalar	10.40	
	Toprak	27.00	62.60
Taş-Kaya	35.60		
Toplam	100.00	100.00	
Ortalama	Familyalar	BKA (%)	BKA Toplamı (%)
	Buğdaygiller	19.70	44.00
	Baklagiller	14.00	
	Diğer Familyalar	10.30	
	Toprak	27.20	56.00
Taş-Kaya	28.80		
Toplam	100.0	100.0	

Çizelge 3. Taşoluk merasının botanik kompozisyon değerleri

Table 3. Botanical composition values of Taşoluk pasture

Familyalar	Botanik kompozisyon (%)		
	Yaz ölçümü	Güz ölçümü	Ortalama
Buğdaygiller	44.66	44.92	44.79
Baklagiller	35.18	27.27	31.23
Diğer familyalar	20.16	27.81	23.98
Toplam	100.00	100.00	100.00

Çeşitli araştırmacıların yaptığı çalışmalarda botanik kompozisyon değerlerine bakıldığında; Babalık ve Sönmez (2010) Isparta ilinde yaptıkları bir çalışmada buğdaygiller familyasını %52.48, baklagiller familyasını %9.15 ve diğer familyaları %38.37 olarak tespit etmişlerdir. Dursun ve Babalık (2018) Isparta ili Çatoluk merasında yürüttüğü çalışmada buğdaygilleri %52.44, baklagilleri %18.04, diğer familyaları ise %29.52 olarak tespit etmişlerdir. Her iki çalışmada da çalışmamız ile benzer olarak buğdaygiller familyasının hakim olduğu görülmektedir.

3.3. Topraküstü biyokütle

Araştırma alanında TÜB miktarı 302.02 kg/da olarak belirlenmiştir. Yaz ölçümünde 372.32 kg/da ölçülen topraküstü biyokütle, güz ölçümünde 231.72 kg/da'ya azalmıştır. Araştırmanın yürütüldüğü mera alanında belirlenen topraküstü biyokütle miktarlarının buğdaygiller, baklagiller ve diğer familyalar bazında dağılımı Çizelge 4'de verilmiştir.

Yaz döneminde yapılan topraküstü biyokütle ölçümlerinde buğdaygillerin oranı topraküstü biyokütlenin %46.60'ını oluştururken baklagil oranı %36.24, diğer familyaların oranı ise %17.16'sını oluşturmaktadır. Güz döneminde yapılan ölçümlerde ise buğdaygillerin oranı %43.64 iken baklagillerin oranı %27.05 ve diğer familyaların oranı %29.31 olarak belirlenmiştir. TÜB'ün ortalama değerlerinde ise buğdaygillerin oranı %45.12, baklagillerin oranı %31.65 ve diğer familyaların oranı %23.24 olarak belirlenmiştir. TÜB açısından merada yapılan yaz ve güz ölçümleri arasında 0.001 önem düzeyinde önemli fark olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde çeşitli araştırmacıların gerçekleştirdikleri çalışmalarda topraküstü biyokütle değerleri incelendiğinde; TÜB değeri Isparta ilinde 475.5 kg/da (Babalık ve Sarıkaya, 2015), Edirne ilinde 391.0 kg/da (Kurt, 2016) ve yine Isparta ilinin farklı bir yöresinde 331.20 kg/da olarak (Dursun ve Babalık, 2018) belirlenmiştir. Buna göre; araştırma alanında bulunan topraküstü biyokütle değerinin Babalık ve Sarıkaya (2015), Kurt (2016) ve Dursun ve Babalık (2018)'in bulduğu değerlerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıkların, çalışmaların yürütüldüğü bölgelerdeki çeşitli topografik faktörlerden, iklim özelliklerinden ve farklı otlama yoğunluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.4. Toprakaltı biyokütle

Çalışma sahasında gerçekleştirilen ölçümlerde TAB miktarı 322.80 kg/da olarak belirlenmiştir. Temmuz ayında yapılan yaz ölçümlerinde toprakaltı biyokütle miktarı 345.20 kg/da olarak bulunurken Ekim ayında yapılan güz ölçümlerinde toprakaltı biyokütle miktarı azalarak 300.40 kg/da olarak saptanmıştır (Çizelge 5). TAB bakımından

mera içerisinde yapılan yaz ve güz ölçümleri arasında ($t=2.364$) %95 güven düzeyinde önemli fark tespit edilmiştir.

Türkiye'nin farklı bölgelerinde çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda TAB değerleri incelendiğinde Aydın (2014) 919.4 kg/da, Taşdemir (2015) 282.3 kg/da ve Dursun ve Babalık (2018) 398.80 kg/da olarak belirlenmişlerdir. Araştırma alanında bulunan TAB değerinin belirlenen bu değerler içerisinde Aydın (2014) ile Dursun ve Babalık (2018)'in bulduğu değerlerden daha düşük, Taşdemir (2015)'in değerinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu farklılıkların, çalışmaların yürütüldüğü bölgelerin çeşitli ekolojik özelliklerinden, iklim özelliklerinden ve farklı otlama yoğunluklarından kaynaklandığı varsayılmaktadır.

3.5. Mera durumu

Araştırmanın yürütüldüğü Taşoluk doğal mera alanında yaz ve güz ölçümlerinde elde edilmiş olan BKA değerlerine göre mera durumu skalasından ulaşılan mera durumları Şekil 3'de sunulmuştur. Şekil 3 incelendiğinde, hem yaz (%50.60) hem de güz ölçümleri (%37.40) sonucunda mera durumunun orta olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda ortalama mera durumunun da %44.00 sonucu ile orta olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. TÜB miktarının familyalara göre dağılımı

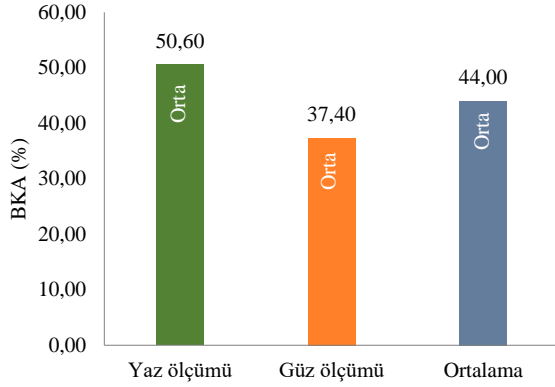
Table 4. Distribution of above-ground biomass by families

Yaz Ölçümü	Familyalar	TÜB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	173.50	
Baklagiller	134.93		372.32
Diğer familyalar	63.89		
Güz Ölçümü	Familyalar	TÜB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	101.12	
Baklagiller	62.68		231.72
Diğer familyalar	67.92		
Ortalama	Familyalar	TÜB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	137.31	
Baklagiller	98.80		302.02
Diğer familyalar	65.91		

Çizelge 5. TAB miktarının familyalara göre dağılımı

Table 5. Distribution of below-ground biomass by families

Yaz ölçümü	Familyalar	TAB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	150.85	
Baklagiller	130.90		345.20
Diğer Familyalar	63.45		
Güz ölçümü	Familyalar	TAB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	120.43	
Baklagiller	86.27		300.40
Diğer Familyalar	93.70		
Ortalama	Familyalar	TAB (kg/da)	Toplam (kg/da)
	Buğdaygiller	135.64	
Baklagiller	108.58		322.80
Diğer Familyalar	78.58		



Şekil 3. Mera durumu
Figure 3. Pasture condition

Ülkemizin farklı yörelerinde çeşitli araştırmacıların yaptığı çalışmalarda mera durumunu; Uluocak (1978) orta, Öner (2006) orta, Türk ve Özen (2016) fakir, Seydoşoğlu ve Kökten (2018) fakir, Dursun ve Babalık (2018) orta olarak tespit etmişlerdir. Tespit edilen mera durumu bu çalışmalardan Uluocak (1978)'in Kırklareli'nde yürüttüğü çalışma, Öner (2006)'in Erzurum'da yürüttüğü çalışma ve Dursun ve Babalık (2018)'in Isparta'da yürüttüğü çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Mera durumunun orta olarak belirlenmesinin nedeni, yüksek yem değerine sahip bitki türlerinin aşırı otlatmalarla azalması ve yerine düşük yem değerine sahip veya hiç yem değeri bulunmayan yabancı otların baskın hale gelmesidir (Güllap vd., 2010).

3.6. Otlatma kapasitesi

Çalışma alanında, yöre için belirlenen 180 günlük bir otlatma periyodunda, kuru ot verimi ortalama 302.2 kg/da, mera alanı 1070 da, faydalanma oranı teorikte %50 olarak kabul edilmiş, büyükbaş hayvan birimi (BBHB) olarak otlatma kapasitesi; 59.88 BBHB olarak hesaplanmıştır. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, Babalık (2007) Isparta ilinde 150 BBHB, Dursun ve Babalık (2018) yine Isparta ilinin farklı bir yöresinde 184 BBHB, Babalık ve Ercan (2018) Eskişehir ilinde 91.2 BBHB, Babalık ve Matrasulov (2020) Antalya ilinde 179 BBHB olarak tespit etmişlerdir. Araştırma sahasında belirlenen otlatma kapasitesi değeri, araştırmacılar tarafından tespit edilen değerler ile karşılaştırıldığında bahsi geçen çalışmaların tamamından daha düşük olarak bulunmuştur. Bu farklılıklar çalışma alanlarının farklı ekolojik özelliklerinden kaynaklanabilmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Aydın ili Karacasu ilçesi Taşoluk doğal merasında yürütülen çalışmada yaz ve güz mevsimlerinde mera vejetasyonun; bitki ile kaplı alan, botanik kompozisyon, topraküstü biyokütle, toprakaltı biyokütle, mera durumu ve otlatma kapasitesi özellikleri üzerinde çalışılmış ve bunlarla ilgili aşağıda sunulan sonuçlar tespit edilmiştir.

Çalışmanın yürütüldüğü mera alanında ortalama BKA değeri %44.00 olarak tespit edilmiştir. BKA değeri temmuz ayı ölçümlerinde %50.60, ekim ayı ölçümlerinde ise %37.40 olarak belirlenmiştir. Taşoluk merasında botanik

kompozisyon değerleri bakımından baskın bitki grubunun buğdaygiller familyası olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen mera alanının %56.00'ünde bitki örtüsünün olmadığı yani boş alan olduğu saptanmıştır. Botanik kompozisyonunda buğdaygiller %44.79, baklagiller %31.23 ve diğer familyalar %23.98 oranında tespit edilmiştir. Mera alanında TÜB miktarının ortalama değeri 302.02 kg/da olarak belirlenmiştir. Temmuz ayı ölçümlerinde 372.32 kg/da, ekim ayı ölçümlerinde ise bu değer 231.72 kg/da olarak tespit edilmiştir. Mera alanında TAB miktarının ortalama değeri 322.80 kg/da olarak belirlenmiştir. Temmuz ayı ölçümlerinde 345.20 kg/da iken bu değer ekim ayı ölçümlerinde 300.40 kg/da olarak belirlenmiştir. Mera durumu orta olarak, otlatma kapasitesi ise 59.88 BBHB olarak tespit edilmiştir.

Mera alanında erken otlatma ile birlikte yıl boyunca süren bilinçsiz ve aşırı otlatma gözlemlenmiştir. Bu durum, bitki örtüsünün ciddi şekilde tahrip edilmesine ve kalitesinin önemli ölçüde azalmasına yol açmıştır. Mera alanının bazı kesimlerinde erozyon belirtileri gözlemlenmiştir. Bu nedenle, otlatmanın planlı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve koruyucu önlemlerin alınması, mera alanının istenilen seviyeye getirilmesi ve erozyonun önlenmesi açısından büyük bir adım olacaktır. Esasen, sorunların temelinde sürdürülebilirlik ilkesinin yeterince uygulanmaması yatmaktadır. İlk olarak, sürdürülebilirlik ilkesinin tam anlaşılması ve hayvancılıkla uğraşan toplumun bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Mera alanının otlatma kapasitesine uygun şekilde kullanılması, köylülerin ve çobanların eğitilmesi gerekmektedir. Öte yandan köylerde mera kullanımı dışında bulunan tarım alanlarında yem bitkisi ekimi teşvik edilmelidir. Bunların yanında, hayvanların meralarda üniform olarak otlatılması ve otlatma kapasitesine uyulması sağlanarak mera durumu iyileştirilmelidir.

Açıklama

Bu makale, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Haydar Can KIRAZLI tarafından tamamlanan yüksek lisans tez çalışmasından hazırlanmıştır.

Kaynaklar

- Acar, Z., Tan, M., Ayan, İ., Aşçı, Ö., Mut, H., Başaran, U., Kaymak, G., 2020. Türkiye'de yem bitkileri tarımının durumu ve geliştirme olanakları. Türkiye Ziraat Mühendisleri IX. Teknik Kongresi, 13-17 Ocak, Ankara, s.529-554.
- Ak, İ., 2013. Türkiye'de kaba yem sorunu ve çözüm önerileri. VII. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi, 26-27 Eylül, Ankara, s.1-12.
- Altın, M., Gökkuş, A., Koç, A., 2005. Çayır Mera Islahı. Ankara Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, TÜGEM Çayır-Mera ve Havza Geliştirme Dairesi Başkanlığı Yayınları, ISBN: 975-407-188-8, s. 468, Ankara.
- Altın, M., Gökkuş, A., Koç, A., 2011. Çayır ve Mera Yönetimi. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü Yayınları, ISBN: 978-605-61805-1-4, s. 376, Ankara.
- Aydın, A., 2014. Karacadağ'ın farklı yükseltilerindeki meralarında bitki tür ve kompozisyonları ile ot verim ve kalitelerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- Babalık, A.A., 2004. Çayır-meralarda dip kaplama ölçüm yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(1): 50-72.

- Babalık, A.A., 2007. Davraz Dağı Kozağacı yaylası merasında bitki ile kaplı alan ve atlatma kapasitesinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(1): 12-19.
- Babalık, A.A., Sönmez, K., 2010. Isparta ili Bozanönü köyü Kırtape merasında botanik kompozisyonun belirlenmesi üzerine bir araştırma. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 12(17): 27-35.
- Babalık, A.A., Sarıkaya, H., 2015. Isparta ili Zengi merasında ot verimi ve botanik kompozisyonun tespiti üzerine bir araştırma. Türkiye Ormanlık Dergisi, 16(2): 96-101.
- Babalık, A.A., Ercan, A., 2018. Eskişehir ili Karaören köyü merasının vejetasyon özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(3): 246-251.
- Babalık, A.A., Matrasulov, F., 2020. Antalya Çukuryayla merasının vejetasyon özellikleri ve otlama kapasitesinin belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20): 327-333.
- Bakır, Ö., 1975. Mera Durumu ve Otlama Gücü Rehberi. Ankara Başbakanlık Toprak ve Tarım Reformu Müsteşarlığı, Araştırma ve Eğitim Enstitüsü Başkanlığı Yayınları, Ankara.
- Bakoğlu, A., Baykal, H., Çatal, M.İ., 2021. Zorkal yaylasının (İkizdere-Rize) mera özellikleri ve botanik kompozisyonun belirlenmesi. Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi, 6(1): 72-76.
- Çaçan, E., Kökten, K., 2014. Bingöl ili Merkez ilçesi Çiçekyayla köyü merasının ot verimi ve otlama kapasitesinin belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 1(Özel Sayı-2): 1727-1733.
- Çalık, A., Polat, T., 2019. The effects of various improvement methods applications on herbage yield of natural pastures. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 7(10): 1714-1721.
- Davis, P.H., 1964-1985. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Edinburgh University. Press. 1-9, Edinburgh.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2018. Isparta ili Çatoluk ormanıç merasının vejetasyon yapısının belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 19(3): 233-239.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., Saud, S., 2023. Determination of Vegetation Structure and Biomass Estimation in Kaplanlı Village Natural Rangeland in Isparta Province Using Geographic Information Systems (GIS). Innovative Research in Agriculture, Forestry and Water Issues, Duvar Publishing, ISBN: 978-625-6507-49-4, August 2023, Chapter 8, 155-176, İzmir.
- Gökkuş, A., 2001. Mera-hayvan ilişkileri ve uygun otlama yoğunluğu. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Tarım ve Köy Dergisi, 139: 28-33.
- Güllap, M.K., 2010. Kargapazarı dağında (Erzurum) farklı otlama sistemi uygulamalarının mera bitki örtüsüne etkisi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Herbel, C., Pieper, R., 1991. Grazing management. In Semiarid Lands and Deserts: Soil Resources and Reclamation. (Ed.J.Skujin), Marcel Dekker, 361-385, New York.
- Kılınç, O., 2021. Isparta ili Yalvaç ilçesi Tokmacık köyü doğal merasında botanik kompozisyonun ve ot veriminin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulama Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Kurt, G., Şen, C., Altın, M., 2015. Doğal bir meranın farklı zaman periyotlarındaki verimi ve bitki boyu seyri üzerine bir araştırma. Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi, 1(5): 38-44.
- Kurt, G., 2016. Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesi doğal mera vejetasyonunun botanik kompozisyonu ve verim potansiyelleri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Lauenroth, W.K., 1979. Grassland primary production: North American grasslands in perspective. In Perspectives in grassland ecology (pp. 3-24). Springer, New York.
- Marshall, J.K., 1973. Drought, land-use and soil erosion. In: The Environmental, Economic and Social Significance of Drought. Edited by J. V.Lovett, Angus and Robertson Publishers, Sydney.
- MGM, 2023. Aydın ili 2022 Yılı ile Uzun Yıllar Ortalamasına (1941-2023) İlişkin Meteorolojik Veriler. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Okatan, A., 1987. Trabzon-Meryemana Deresi Yağış Havzası Alpin Meralarının Bazı Fiziksel ve Hidrolojik Toprak Özellikleri ile Vejetasyon Yapısı Üzerine Bir Araştırma. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, No: 664, Seri No: 62, Ankara.
- Ok, H., Çaçan, E., 2023. Övündüler köyü (Diyarbakır-Türkiye) merasının verim, botanik kompozisyonu ve otlama kapasitesinin belirlenmesi. AÇÜ Orman Fakültesi Dergisi, 24(1): 148-154.
- Oluk, S., 1999. Babadağ (Denizli)'in flora ve vejetasyonu. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Öner, T., 2006. Korunan otlatılan ve sürülüp terk edilmiş mera alanlarının bitki örtülerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Öngür, T., 1971. Denizli-Babadağ Çevresine İlişkin Jeolojik Etüt ve Jeotermik Enerji Olanakları. Mineral Res. Expl. Direct. Turkey (MTA), Scientific Report, 4689: 75.
- Palta, Ş., Yücesoy, P., 2022. Zonguldak ili Nebioğlu yöresi doğal meralarının toprak ve vejetasyon özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 23(3): 218-230.
- Sabancı, C.O., 2012. Role and management of permanent grasslands. In: Acar Z. (ed.), López-Francos A. (ed.), Porqueddu C. (ed.). New approaches for grassland research in a context of climate and socioeconomic changes, CIHEAM, 2012, 285-293, Zaragoza.
- Sayar, M., Han, Y., Başbağ, Y., Gül, İ., Polat, T., 2015. Rangeland improvement and management studies in the southeastern Anatolia region of Turkey. Journal of Agriculture Science, 52(1): 9-18.
- Seydoşoğlu, S., Kökten, K., 2018. Batman ili Beşiri ilçesi mera vejetasyonlarının bazı özellikleri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 55(4): 491-497.
- Snyman, H. A., Fouche, H. J., 1993. Estimating seasonal herbage production of a semi-arid grassland based on veld condition, rainfall and evapotranspiration african. Journal Range Forest Science, 10: 21-24.
- Şen, Ç., 2010. Kilis ilinin bazı köylerindeki meralarda vejetasyon yapısı üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Taşdemir, V., 2015. Elazığ ili Karakoçan ilçesi Bahçecik köyü merasında verim ve botanik kompozisyonunun saptanması üzerine bir çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.
- Tetik, M., Sarıbaşak, H., Çakmakçı, S., Bilgen, M., Aydınoglu, B., 2002. Burdur Kemer ilçesi mera alanlarında kullanılacak ıslah yöntemlerinin saptanması. Orman Bakanlığı Batı Akdeniz Ormanlık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 16, Antalya.
- TKİB, 1998. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 4342 Sayılı Mera Kanunu, Mera Yönetmeliği, Fon Yönetmeliği Uygulama Talimatları. Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tuna, C., 2010. Biodiversity characteristics and its measurement in koseilyas pasture of Trakya (Thrace) region, Turkey. Cuban Journal of Agricultural Science, 44(1): 79-85.
- Türk, M., Özen, F., 2016. Ağlasun ormanıç meralarının verim ve kalitesinin belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(1): 82-88.
- Türker, A. H., 2006. Mersin Tarsus Oluk Koyak köyü Topak Ardıc mevkiinde 1997 yılından beri korunmuş ağaçlandırma sahasındaki otsu vejetasyonun özellikleri üzerine özellikleri üzerine bir araştırma. Doğu Akdeniz Orman Araştırma Müdürlüğü Doğa Dergisi, 12: 1-39.
- Uluocak, N., 1978. Kırklareli yöresi orman içi mera vejetasyonunun nitelikleri ve bazı kantitatif analizleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 2407, Orman Fakültesi Yayın No: 253, İstanbul.
- Uslu, Ö.S., Hatipoğlu, R., 2007. Kahramanmaraş ili Türkoğlu ilçesi Araplar köyü Yeniapan merasında botanik kompozisyonun tespiti üzerine bir araştırma. Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi, 25-27 Haziran, Erzurum, s.181-184.

Aydın - Kuyucak yöresinde kızılçam verimliliğinin modellenmesi

Hüseyin Keçelioğlu^a, Özdemir Şentürk^{a,*}

Öz: Orman kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla, orman alanlarında uygun ormancılık uygulamalarının gerçekleştirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, asli türlerin verimlilik modellerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, kızılçam türünün verimliliğini modelleyerek, türün yetişme ortamlarına ilişkin yüksek ve düşük bonitet potansiyeline sahip bölgelerin belirlenmesini hedeflemiştir. Kızılçam verimliliğinin modellenmesi amacıyla 20 x 20 m büyüklüğündeki her bir örnek alanda en az 3 adet istikbal vadeden bonitet ağacı belirlenmiştir. Bonitet ağaçlarından elde edilen veriler kullanılarak her bir örnek alanda kızılçamın bonitet endeks değerleri hesaplanmıştır. Ardından, çevresel ve iklim değişkenlerinin oluşturulması süreci tamamlanmış olup çoklu regresyon analizi ve regresyon ağacı yöntemi kullanılarak kızılçam verimliliğinin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonucunda yükselti, yıllık yağış miktarı ve sıcaklık yükü değişkenleri modeli yapılandırılmıştır. Yıllık yağış miktarının yaklaşık 470 mm'nin üzerinde, daha fazla sıcaklık yüküne sahip bakılarda ve yükseltinin 326 m'nin altında olduğu yerlerde en yüksek bonitet endeks değeri elde edilmiştir. Büyük Menderes Ovası'ndaki yoğun tarımsal faaliyetler ve belirgin antropojen etkilerden dolayı elde edilen bonitet değerleri nispeten düşük çıkmıştır. Çalışma alanında kızılçam meşcerelerinin kötü bonitette veya boşluklu kuruluşa olması elde edilen sonuçları destekler niteliktedir. Bu tür alanlarda gerçekleştirilecek tamamlama, ağaçlandırma veya gençleştirme gibi ormancılık müdahalelerinin, meşcerelerin sağlığının yeniden kazandırılmasına ve daha nitelikli hale dönüştürülmesine katkı sağlayacağı ve bu süreçte uygulayıcılara yön göstereceği öngörülmektedir. Ayrıca, orman alanlarının sürekliliğinin sağlanması, ekosistem restorasyonu, koruma ve planlama süreçlerinde uygulamacılara yardımcı olacağı aşikardır.

Anahtar kelimeler: Antropojen, Bonitet, Boşluklu kuruluşa, Büyük Menderes, Sürdürülebilirlik

Modeling Brutian pine productivity in Aydın - Kuyucak district

Abstract: In order to ensure the sustainability of forest resources, it is critical to realize appropriate forestry practices in forest areas. In this context, the development of productivity models of main trees is of great importance. This study aimed to determine the regions with high and low site index potential for the site properties of the species by modeling the productivity of Brutian pine species. In order to model the productivity of Brutian pine, at least 3 plus trees were determined in each sample area of 20 x 20 m. Using the data obtained from the plus trees, the site index values of Brutian pine in each sample area were calculated. Then, the process of establishing environmental and climatic variables was completed and modeling of Brutian pine productivity was carried out using multiple regression analysis and regression tree method. As a result of the modeling, elevation, annual precipitation and heat load variables structured the model. The highest site index value was obtained where the annual precipitation was above 470 mm, at the elevations with higher heat load and where the elevation was below 326 m. Due to intensive agricultural activities and significant anthropogenic impacts in the Büyük Menderes Plain, the site index values obtained were relatively low. The fact that the Brutian pine stands in the study area are in poor site index or degraded stands supports the results obtained. It is predicted that forestry activities such as interplant, afforestation or regeneration to be carried out in such areas will contribute to restoring the health of the stands and transforming them into better quality and will guide the practitioners in this process. In addition, it is obvious that it will help practitioners in ensuring the sustainability of forest areas, ecosystem restoration, conservation and planning processes.

Keywords: Anthropogenic, Site, Degraded stand, Büyük Menderes, Sustainability

1. Giriş

Geçmişten günümüze gelinceye kadar orman kaynaklarından faydalanılmanın miktarında ve şeklinde sürekli olarak değişiklikler meydana gelmiştir. Ancak, her geçen gün orman ve orman ürünlerine olan ihtiyaç giderek artış göstermiştir. Bu ihtiyaçların karşılanması noktasında Orman Genel Müdürlüğü ve bağlı birimleri sürekli olarak ormanların korunması ilkesi başta olmak üzere yenilenmesine ve sınırlarının genişletilmesine kadar olan süreçlerin tamamını yönetmektedir. Bu kapsamda en iyi göstergelerden birisi son elli yılda (1973 – 2023) orman

varlığımızın yaklaşık olarak 3,1 milyon ha alsansal artış göstererek 23,3 milyon ha büyüklüğe ulaşmasıdır. Bunun yanı sıra, aynı dönem içerisinde yaklaşık 788 milyon m³ artışla ağaç serveti miktarı 1.773.672.287 m³ seviyesine çıkmıştır (OGM, 2023). Bu durumun temel nedeni boşluklu kuruluştaki orman alanlarının çoğunlukla normal kuruluştaki orman alanlarına dönüştürülmesiyle ağaç serveti miktarının artmasına hizmet etmiş olmasıdır. Buraya kadar ki kısımda ekonomik olarak diğer bir deyişle üretim fonksiyonu gözetilerek faydalanılmadan bahsedilmiştir. Ancak ormanlardan ekolojik (*doğayı koruma fonksiyonu, erozyonu önleme fonksiyonu, iklim koruma fonksiyonu*) ve

^a Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü, Gölhisar, Burdur

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): osenturk@mehmetakif.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 10.09.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 26.09.2024



Citation (Atıf): Keçelioğlu, H., Şentürk, Ö., 2024. Aydın - Kuyucak yöresinde kızılçam verimliliğinin modellenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 390-398.
DOI: [10.18182/tjf.1548015](https://doi.org/10.18182/tjf.1548015)

sosyokültürel (*hidrolojik fonksiyon, toplum sağlığı fonksiyonu, estetik fonksiyon, ekoturizm ve rekreasyon fonksiyonu, ulusal savunma fonksiyonu, bilimsel fonksiyon*) olarak faydalanma da söz konusu olmaktadır. 2012 yılındaki verilere göre orman alanlarından ekonomik anlamda faydalanma %62,8 iken günümüzde %40 seviyesine kadar gerilemiştir (OGM, 2012). Bu durumda, ormanlara olan ihtiyacın daha çok ekolojik (%51,1) ve sosyokültürel (%8,9) ihtiyaçların karşılanmasına evrildiği anlaşılmaktadır (OGM, 2023).

Görüldüğü üzere ekonomik faydanın söz konusu olduğu kısımdaki farkın ekolojik ve sosyokültürel alanlara aktarılmasından dolayı, üretim fonksiyonu için geride kalan orman alanlarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi gerekmektedir. Ülkemiz asli orman ağacı türleri bakımından kayda değer bir çeşitliliğe sahip olup, üretim fonksiyonunun gerekliliklerini yerine getirecek düzeydedir. Bu kapsamda, asli orman ağacı türlerimizden kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) öne çıkmaktadır. Ülkemizde, Akdeniz ve Ege bölgesinde çok geniş bir yayılış alanına sahip olan kızılçam kısmen Orta ve Batı Karadeniz bölgelerinde lokal olarak yayılış göstermektedir (Şentürk vd., 2019). Günümüzde 23,36 milyon ha orman varlığımızın 5,33 milyon ha kadarı kızılçam ormanlarından oluşmakta olup toplam orman varlığının %22,81'ine tekabül etmektedir (OGM, 2023). OGM istatistiklerine göre kızılçam, dikili kabuklu gövde hacmi üzerinden 7,54 milyon m³ ağaç serveti miktarı ile açık ara ilk sırada yer almaktadır (OGM, 2023). Özellikle ekonomik anlamda en fazla tercih edilen ibrelî tür olmasının temel nedeni kısa idare süresine sahip olması, işletmeciliğin diğer türlere nazaran daha hızlı ve kolay yapılabilmesi, tıraşlama kesimi ile büyük alanlarda üretim yapılabilmesi şeklinde sıralanabilmektedir. Bunun yanı sıra odun özellikleri bakımından farklı kullanım alanlarına sahip olması ve endüstriyel olarak piyasanın talebini karşılaması kızılçamın ekonomik açıdan daha fazla tercih edilmesine neden olmuştur (Bozkurt ve Göker, 1996; Bozkurt ve Erdin, 1997; Ürgenç, 1998; Eroğlu ve Usta, 2000; Taş, 2017). Diğer taraftan, kızılçam ormanlarının neredeyse üçte biri boşluklu kuruluşta (1.750.705 ha) bulunmaktadır. Aslında mevcut boşluklu kuruluştaki kızılçam ormanları ormancılık uygulamalarıyla normal kuruluşta kızılçam ormanlarına dönüştürülmesi söz konusu olabilmektedir. Bu durum kızılçam ormanlarından ekonomik bakımdan daha fazla gelirin elde edilmesini sağlayacaktır. Ancak unutulmamalıdır ki, boşluklu kuruluştaki bu alanlardan sadece ekonomik anlamda değil bir kısmı ekolojik veya sosyokültürel amaçlar ile de kullanılabilir. Ülkemiz orman varlığının %22,81'ini oluşturan kızılçam ana fonksiyonlar itibarıyla ciddi bir potansiyele sahip olduğu aşikardır. Böyle bir potansiyele sahip olan kızılçam ormanlarından gerek boşluklu kuruluşta gerekse normal kuruluşta meşcerelerinin daha verimli bir şekilde işletilmesi bir gereklilik haline gelmiştir. Ancak burada unutulmaması gereken esas konu yukarıda bahsi geçen orman kuruluşlarında ormancılık faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için ekolojik anlamda birçok bilgiye sahip olunması gerekmektedir. Bunların başında hedef türün yetişme ortamı özellikleri ve buna bağlı potansiyel dağılım alanlarının belirlenmesi gelmektedir. Belirlenen bu alanlar içerisinde hedef türün en iyi büyüme ve gelişme göstereceği alanların diğer bir ifadeyle iyi bonitete sahip yerlerin ekolojik tabanlı modelleme çalışmalarıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, yapılacak olan ormancılık

faaliyetleri kısa zamanda, daha doğru ve etkin çözümler getirilerek başarıya ulaşabilecektir. Şöyle ki, ekolojik tabanlı modelleme çalışmaları sayesinde bozuk kuruluşta hedef türün yetişme ortamı özelliklerine uygun verimliliği yüksek potansiyel alanlarda tamamlama veya ağaçlandırma çalışmalarının yapılmasında, normal kuruluşta ise gençleştirme çalışmalarında iyi bonitete sahip meşcerelere öncelik tanınmasında veya iyi bonitete sahip olmayan meşcerelerin gençleştirmelerinde siper altı dikimler ile tamamlama çalışmalarının yapılmasında başarıyı getirecek ekolojik bilgiyi sunmaktadır. Bunun sonucunda, daha nitelikli meşcerelerin oluşturulması sağlanacak olup hedef türe ait meşcerelerin sürdürülebilirliğine de hizmet edecektir.

Verilen bilgilerden anlaşılacağı üzere orman kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanmasında ormanların verimli şekilde işletilmesi gerektiği sonucuyla karşı karşıya kalmaktayız. Bunun için gerekli olan ekolojik bilginin elde edilmesi süreçlerinde verimlilik modelleme çalışmaları yön gösterici olacaktır. Hedef türün bonitet endeks değerleri ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konmasıyla verimlilik modelleri oluşturulmaktadır. Hedef tür için en verimli veya verimsiz orman alanları verimlilik modellemesi yardımıyla potansiyel olarak tespit edilebilmektedir ve bu modellerin yapılması planlanan ormancılık faaliyetlerinde uygulayıcılara yön göstereceği düşünülmektedir. Buradan hareketle boşluklu kuruluşta ve kötü bonitete kızılçam meşcerelerinin ağırlıkta olduğu çalışma alanı Aydın – Kuyucak yöresinde kızılçam verimliliğinin modellenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda elde edilen kızılçam verimliliği modellerine göre en verimli/verimsiz kızılçam meşcereleri tespit edilmiş olup özellikle kötü bonitete yer alan veya boşluklu kuruluşta bulunan meşcerelerin normal kuruluşta ulaştırılması sağlanarak gerek ekonomik gerekse ekolojik veya sosyokültürel bakımdan bu alanların yeniden kazanılmasına yardımcı olacak ekolojik model tabanlı bilgiler sunulmuştur. Bu sayede, orman ekosistemlerinde sürdürülebilirliğin ve orman kaynaklarına olan ihtiyacın ana fonksiyonlar itibarıyla sürekliliğinin sağlanması noktasında uygulayıcılara yön göstermesi amaçlanmıştır. Ayrıca yapılan bu çalışma diğer asli orman ağacı türlerimiz içinde uygulanabilir nitelikte olup ileride yapılacak olan ormancılık faaliyetlerine ve bilimsel anlamdaki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve yöntem

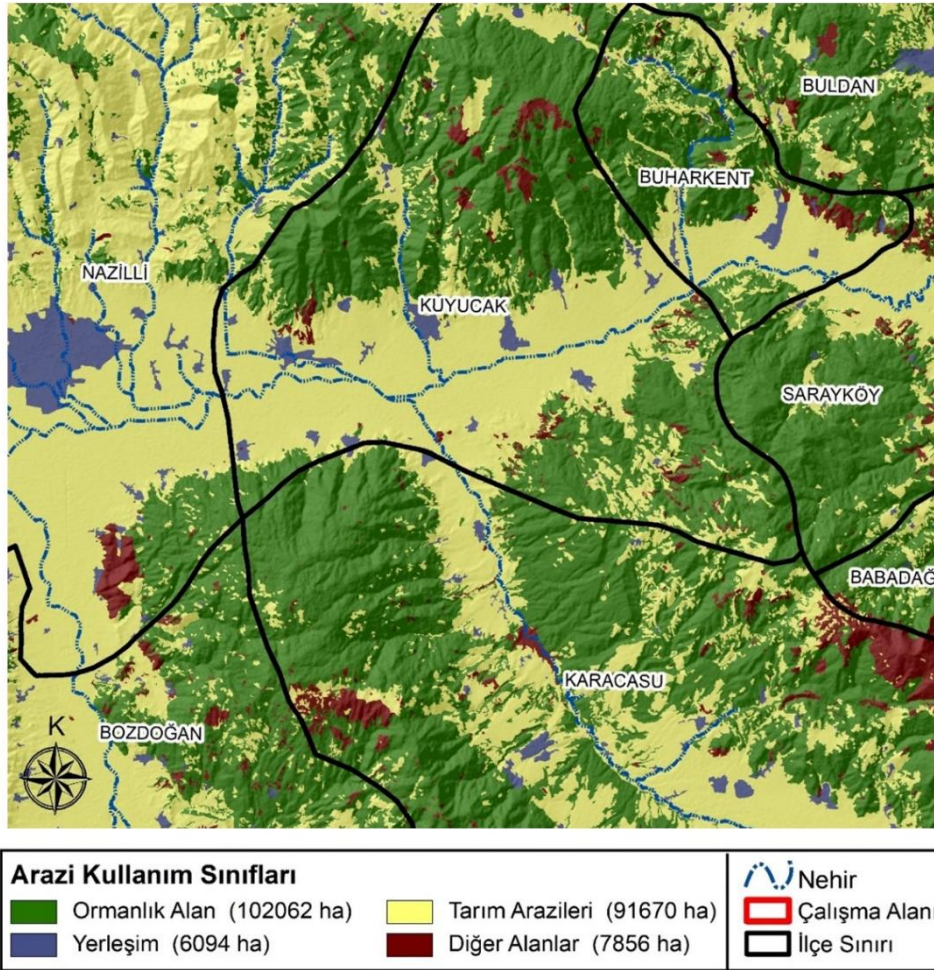
2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı Aydın ili Nazilli, Kuyucak, Bozdoğan ve Karacasu ilçeleri ve Denizli ili Buharkent, Sarayköy, Babadağ ve Buldan ilçe sınırları içerisinde kalmakta olup yaklaşık olarak 207.683 ha büyüklüğündedir. Çalışma alanının neredeyse yarısı ormanlık alan (102.062 ha) geriye kalan kısmının büyük bir bölümünü ise tarım arazileri (91.670 ha) oluşturmaktadır (OGM, 2017) (Şekil 1). Yöre Büyük Menderes Havzası içerisinde yer almaktadır ve Büyük Menderes Ovası çalışma alanının orta kısmını kaplamaktadır. Ayrıca, ovanın ortasından Büyük Menderes Nehri yöreyi ikiye ayırmakta olup Nazilli'nin güneyinde Bozdoğan'da Akçay, Karacasu'da Dandalaz, Buharkent'te Feslek, Kuyucak'ta Kayran, Kuyucak ve Nazilli arasında Kestel ve Melengeç başlıca akarsulardır. Bu alanın verimli olmasından dolayı özellikle tarımsal faaliyetler yoğunudur (Deniz, 2013).

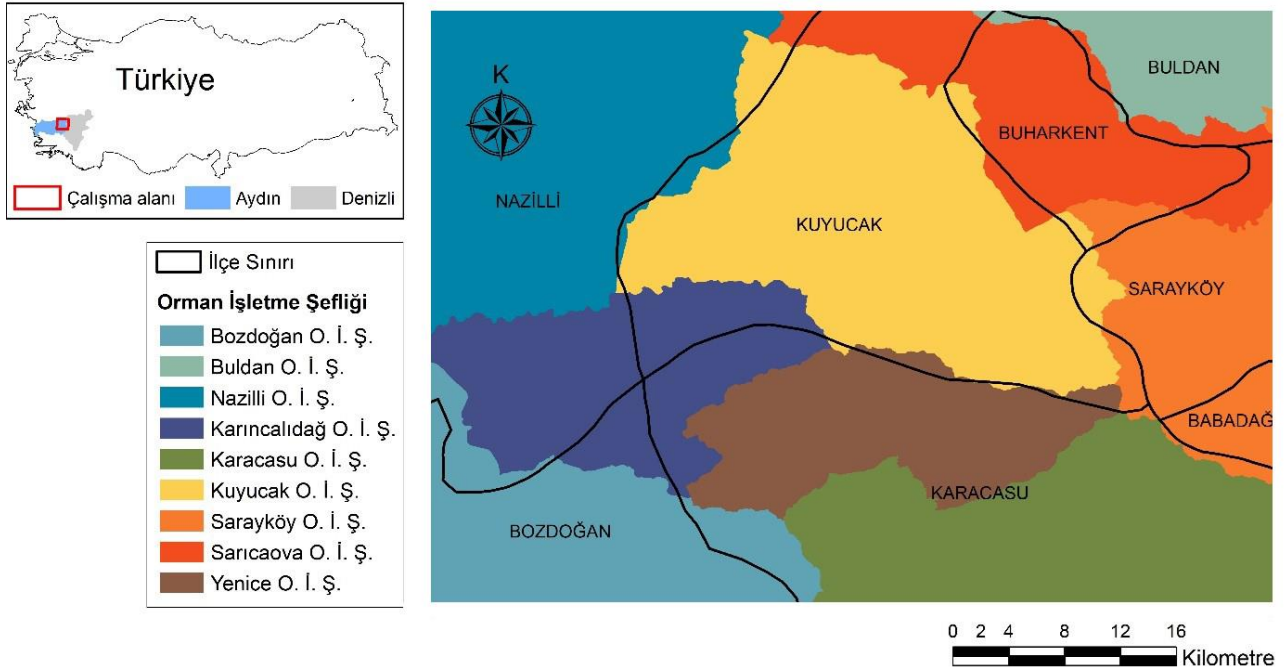
Arazi kullanım sınıflarında yerleşim yerleri ve diğer alanlar (Taşlık Kayalık: 46 ha, Ocak: 43 ha, Kumul Alanlar: 42 ha, Sulak Alanlar: 199 ha, Mera Alanları: 599 ha, Tesis: 54 ha, Orman İçi Açıklıklar: 6871 ha) çalışma alanının yaklaşık %6,7'sini kaplamaktadır (OGM, 2017).

Çalışma alanının kuzeyinde büyük çoğunluğu İzmir ve Aydın illeri sınırında yer alan ve Denizli Buldan'a kadar uzanan Aydın Dağları (1831 m) bulunmaktadır. Yörenin güneyinde Karacasu ilçe sınırları içerisinde Karıncalıdağ (1703 m), Kuyucak ilçesinin kuzeydoğusu ve Buharkent ilçesinin kuzeybatısında Çamlık Dağı (1724 m), Bozdoğan ilçesinin doğusunda Madran (Baba) Dağı (1792 m) ve Denizli Babadağ ilçesindeki Akdağ (1817 m) kütleleri yer almaktadır. Çalışma alanı Büyük Menderes Ovası, Nazilli, Karacasu ve Bozdoğan'ın bir kısmında kuarterner, Karacasu'nun geriye kalan kısımlarında Menderes masifine ait paleozoyik – alt tersiyer örtü serisi, Pan – Afrikan yapısına

ait şist – paragnays ve biyotit ortognays, Kuyucak, Buldan ve Buharkent bölümünde karışık olarak Pan – Afrikan yapısına ait şist – paragnays ve biyotit ortognays, Sarayköy'de ise kuarterner ve Pan – Afrikan yapısına ait şist – paragnays birimlerine rastlanmaktadır (Koçak ve Şenol, 2013). Köppen iklim sınıflandırmasına göre yöre tipik Akdeniz iklim özelliklerine sahip Csa (Kış ılık, yazı sıcak ve kurak) iklim sınıfına girmektedir (Rubel vd., 2017). Çalışma alanının uzun dönemli yıllık ortalama toplam yağış miktarları Nazilli 569,4 mm, Kuyucak 462,8 mm ve Karacasu 544,6 mm iken, yıllık ortalama sıcaklıkları sırasıyla 17,5 °C, 17,8 °C ve 16,0 °C şeklindedir (Deniz, 2013). Öte yandan, çalışma alanı Muğla ve Denizli Orman Bölge Müdürlüklerine bağlı 9 farklı Orman İşletme Şefliği kapsamaktadır (Şekil 2). İşletme şefliklerinde kızılçam türü başta olmak üzere karaçam, fıstıkçami, ardıç, sedir, kestane ve farklı meşe türlerine ait meşcereler bulunmaktadır (OGM, 2017).



Şekil 1. Çalışma alanının arazi kullanım durumu
Figure 1. Land use properties of the study area



Şekil 2. Çalışma alanı içerisinde kalan Orman İşletme Şefliklerine ait yerbuldur
Figure 2. The locations of Forest Enterprise Chiefdoms within the study area

2.2. Arazi ve büro çalışmaları

Kızılçam verimliliğinin modellenmesi amacıyla 20 x 20 m (400 m²) büyüklüğünde toplamda 40 örnek alanda arazi envanter çalışması gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek alanda kızılçam verimliliğini tespit etmek için doğal dal budanmasını tamamlamış, tepe sürgünü sağlam ve meşcerenin tepe kısmındaki hâkim konumda en az 3 adet istikbal vadeden bonitet ağacı belirlenmiştir (Irmak, 1970; Fırat, 1972; Kalıpsız, 1984). Bu ağaçların her birinden dikili halde boy ölçer kullanılarak boy ölçümü ve 1, 30 m yükseklikten (göğüs seviyesinden) artım burgusu kullanılarak artım kalemleri alınmıştır. Artım kalemlerinden yaş halkaları sayılarak yaş tespiti yapılmıştır. Her bir örnek alan merkezinin enlem ve boylam değerleri Küresel Konumlama Sistemi (Global Position System: GPS) kullanılarak kayıt altına alınmıştır.

Büro ortamında modelleme süreçlerinde kullanılan yetişme ortamı özelliklerine ait çevresel değişkenlerin oluşturulması amacıyla çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli (DEM) The U.S. Geological Survey (USGS) veritabanından temin edilmiştir. Elde edilen DEM kullanılarak çalışma alanına ait yükselti ve eğim değişkenleri üretilmiştir. Sonrasında "Topographic Tool" eklentisi yardımıyla arazi formunu temsil eden topoğrafik pozisyon indeksi, solar aydınlanma indeksi ve yamaç konumu değişkenleri (Jennes, 2006), "Geomorphometric and Gradient Metrics Toolbox" eklentisi kullanılarak sıcaklık yükü indeksi değişkenleri oluşturulmuştur. Sıcaklık yükü indeksi, potansiyel güneş ışınımını birim cinsinden tahmin etmek için kullanılan yıllık doğrudan gelen radyasyon, sıcaklık ve ısı yükü olarak ifade edilmektedir (McCune ve Keon, 2002). Çalışma alanının ait jeoloji haritası Maden Tetkik Araştırma Müdürlüğünden temin edilmiştir. Farklı anakaya tipleri ArcMap 10.2 yazılımında çizilerek öznetelik tablosun oluşturulmuştur. Ardından elde edilen öznetelik tablosundaki

litoloji bilgileri esas alınarak anakaya tipleri haritası raster formatında dışa aktarımı yapılmıştır. Son aşamada, Fick ve Hijmans (2017), tarafından oluşturulan ve ücretsiz kullanıma sunulan iklim değişkenleri <http://www.worldclim.org> adresinden indirilmiştir. İndirilen iklim değişkenleri uygun projeksiyonlara dönüştürülmüş ve çalışma alanı ölçeğinde kesilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada, iklim değişkenlerinden sadece yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık yağış değişkenleri kullanılmıştır.

2.3. İstatistiksel değerlendirme

Bu çalışmada kızılçam verimliliğinin modellenmesi amaçlanmıştır. Verimliliğin hesaplanmasında kızılçam türünün bonitet endeks değerleri kullanılmıştır. Elde edilen bonitet endeks değerleri ile yetişme ortamı özellikleri ilişkilendirilerek hedef türün verimlilik modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak kızılçam türünün doğal meşcerelerinden üst tabakada yer alan 3 ağaca ait yaş ve boy değerlerinin 75 yaşa endekslenmesi ile bonitet endeks değerleri hesaplanmıştır. Bonitet endeksi hesabında kızılçam hasılat tablosundan faydalanılmıştır (Erkan, 1996).

Ardından, modelleme aşamasından önce iklim değişkenleri ile yükselti değişkeninin birbirleriyle korelatif ilişki göstermelerinden dolayı Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır (Pearson, 1900). Analiz sonucunda geriye kalan değişkenler ile modelleme sürecine geçilmiştir. Kızılçam verimliliğinin modellenmesinde çoklu regresyon analizi ve regresyon ağacı yöntemi kullanılmıştır (Breiman vd., 1984; De'ath ve Fabricius, 2000; Özdamar, 2002).

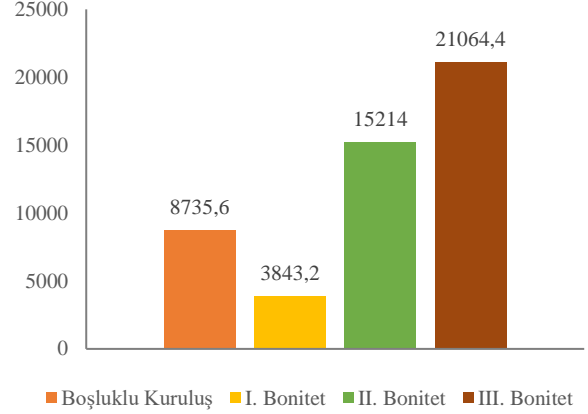
3. Bulgular

Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan Muğla ve Denizli Orman Bölge Müdürlüklerine bağlı Orman İşletme Şefliklerinde kızılçamın asli tür olduğu işletme sınıflarında 8735,6 ha boşluklu kuruluş olmak üzere toplam yaklaşık 49.000 ha alanda yayılış göstermektedir. Geriye kalan yaklaşık 40.121 ha kızılçam meşcerelerinin yarısından fazlası III. bonitet sınıfına girdiği belirlenmiştir (OGM, 2017) (Şekil 3).

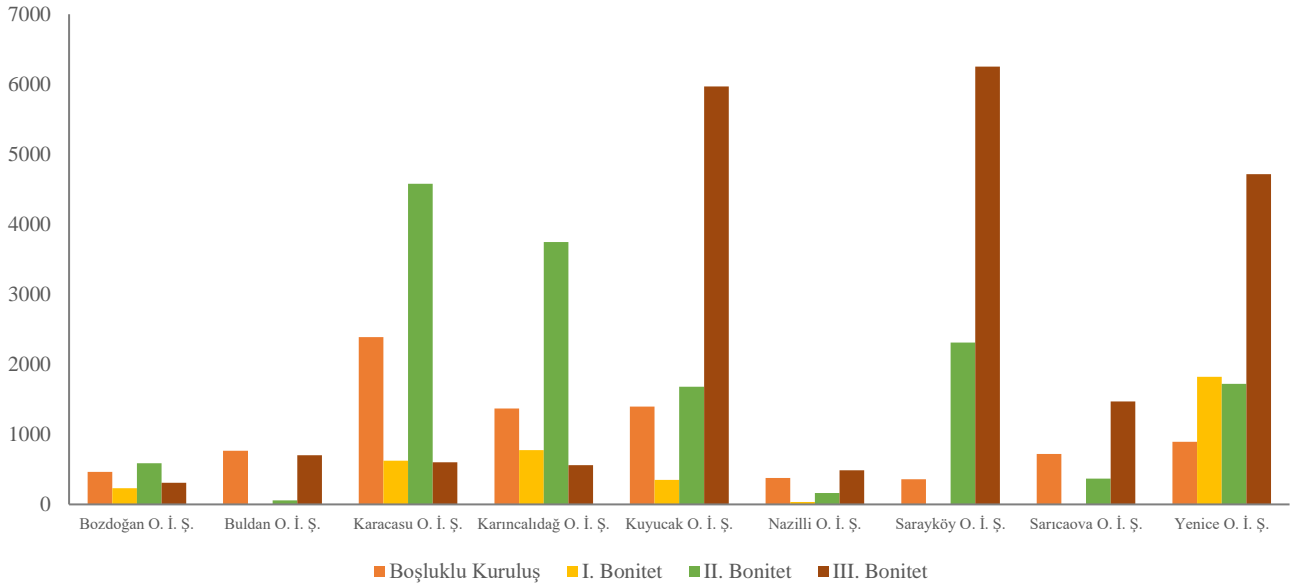
Öte yandan, Kuyucak, Sarayköy ve Yenice Orman İşletme Şefliklerinde kızılçam işletme sınıfında III. bonitet sahaların yörede daha fazla alan kaplamaktadır. Karacasu ve Karıncalıdağ Orman İşletme Şefliklerinde ise kızılçam işletme sınıfı için II. bonitet sahaların yöre içerisinde daha fazla alana sahip olduğu görülmektedir (OGM, 2017) (Şekil 4). Genel itibari ile yöre sınırlarına giren orman işletme şefliklerinde I. bonitet sahalar çalışma alanının sadece %8'ini temsil etmektedir.

Kızılçam verimliliğinin modellenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada ilk olarak iklim değişkenleri ile yükselti değişkeni arasındaki ilişkiye Pearson korelasyon analizi kullanılarak bakılmıştır (Çizelge 1). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yükselti ile yıllık ortalama sıcaklık arasında yüksek korelasyon ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Yükselti ile yıllık ortalama sıcaklık arasındaki korelasyon katsayısının negatif yönlü ve oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, ilgili değişkenin kullanılması halinde çoklu bağlantı problemine sebep olacağı

öngörülmüştür. Öte yandan, yükselti ile yıllık yağış miktarı arasında istatistiksel anlamda ilişki ($p > 0,05$) tespit edilememiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlara göre çoklu regresyon analizi ve regresyon ağacı yönteminde iklim değişkenlerinden sadece yıllık yağış miktarı değişkeni kullanılarak devam edilmesine karar verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanındaki kızılçam türü bonitet sınıflarının alansal dağılımı (ha)
Figure 3. Areal distribution of Brutian pine site classes within the study area (ha)



Şekil 4. Orman İşletme Şefliklerinin bonitet sınıflarının alan bazlı dağılımı (ha)
Figure 4. Area-based distribution of site classes of Forest Enterprise Chiefdoms (ha)

Çizelge 1. Yükselti ve iklim değişkenlerinin Pearson korelasyon analizi sonuçları

Table 1. Results of Pearson correlation analysis of elevation and climate variables

		Yükselti	Yıllık ortalama sıcaklık (°C)	Yıllık yağış miktarı (mm)
Yükselti	Korelasyon katsayısı	1	-0,952	-0,202
	Önem değeri	-	0,000	0,210
Yıllık ortalama sıcaklık	Korelasyon katsayısı	-0,952	1	0,237
	Önem değeri	0,000	-	0,141
Yıllık yağış miktarı	Korelasyon katsayısı	-0,202	0,240	1
	Önem değeri	0,210	0,141	-

Kızılcım türünün verimliliğinin modellenmesi aşamasında çoklu regresyon analizi ve regresyon ağacı tekniği kullanılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak bonitet endeks değerleri ile çevresel ve iklim değişkenleri arasında aşamalı (stepwise) kriteri seçilerek çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda, tek bir model elde edilmiş olup modelde sadece sıcaklık yükü indeksi değişkeni yer almıştır (Çizelge 2). Elde edilen modelin r^2 değeri 0,141 olarak bulunmuştur. Modele göre, bonitet endeksi ile sıcaklık indeksi arasında pozitif yönlü bir ilişki tespit edilmiştir. Sıcaklık indeksi değerinin artmasıyla bonitet endeksinin arttığı belirlenmiştir.

Diğer taraftan, çoklu regresyon analizinden elde edilen modeli sadece bir değişkenin açıklaması bonitet endeksi ile çevresel ve iklim değişkenleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde yeterli görülmemiştir. Bu yüzden, bahsi

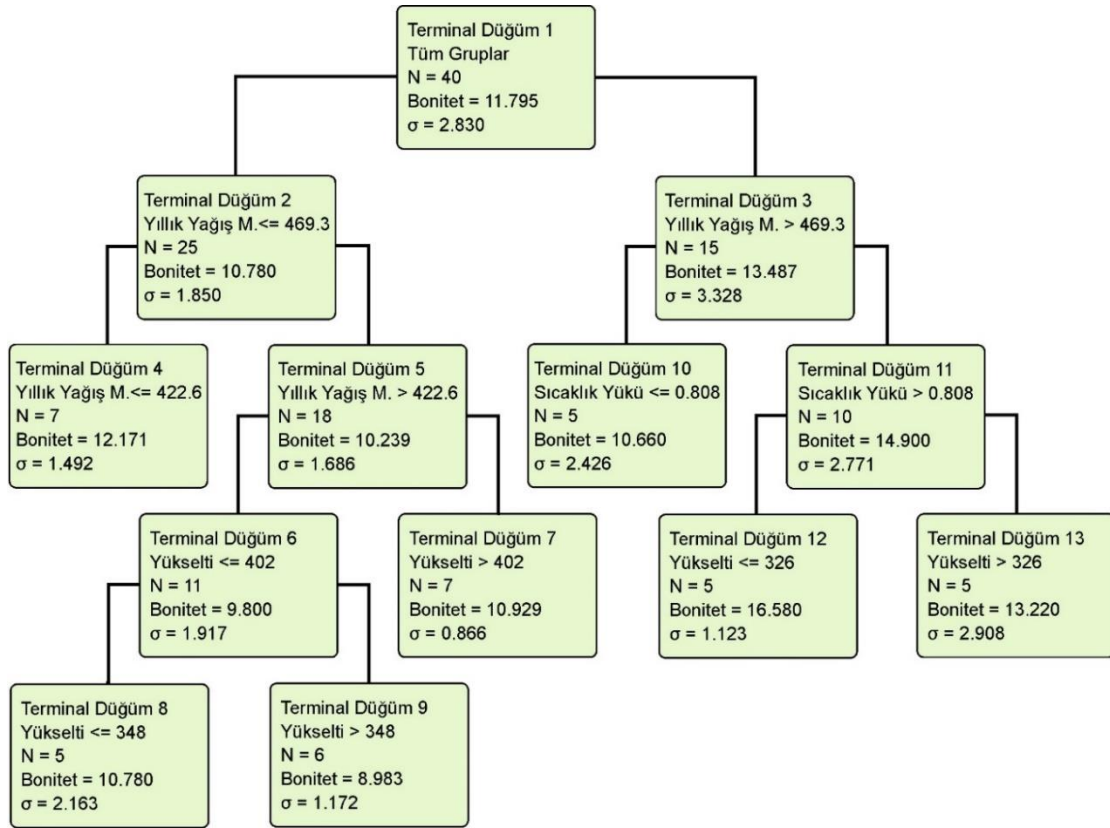
geçen ilişkilerin ortaya konması amacıyla regresyon ağacı yöntemine başvurulmuştur. Regresyon ağacı tekniği sonucunda elde edilen ağaç modeli yükselti, sıcaklık yükü indeksi ve yıllık yağış değişkenleri yapılandırmıştır (Şekil 5). Modeli yapılandıran değişkenlerin katkı büyüklükleri sırasıyla yıllık yağış, sıcaklık indeksi ve yükselti şeklinde olmuştur. Elde edilen modelin r^2 değeri 0,5927 bulunmuştur.

Ağaç model incelendiğinde bonitet endeksi değeri en yüksek 12. terminal düğümden elde edilirken, en düşük 9. terminal düğümden elde edilmiştir. Buna göre, yıllık yağışın yaklaşık 470 mm'nin üzerinde, daha fazla sıcaklık yüküne sahip bakılarda ve yükseltinin 326 m'nin altında olduğu yerlerde kızılçımın bonitet endeksi en iyi sonucu vermiştir. Aynı model kuralının işlediği ve yükseltinin 326 m'nin üzerinde olduğu yerlerde ise yine bonitet endeksi değeri diğer alanlara kıyasla yüksek bulunmuştur.

Çizelge 2. Kızılcım verimlilik modellemesi çoklu regresyon analizi sonuçları
Table 2. Results of Brutian pine productivity modeling linear regression analysis

Model	Standardize edilmiş katsayılar		Standardize edilmiş katsayılar	t değeri	Önem seviyesi	Doğrusal bağıntı istatistikleri	
	B	Standart hata				Tolerans	Varyans şişme faktörü
Sabite	-22,017	13,606		-1,618	0,114		
1 Sıcaklık yükü indeksi	41,618	16,740	0,374	2,486	0,017	1,000	1,000

Önem seviyesi: %0,05



σ : Standart Sapma

Şekil 5. Kızılcım verimliliğinin regresyon ağacı modeli
Figure 5. Regression tree model of Brutian pine productivity

4. Tartışma ve sonuç

Kızılçam verimliliğinin modellenmesi amacıyla 40 örnek alanda en az 3 adet istikbal ağacından boy ve yaş ölçümü yapılmıştır. Arazi envanter çalışması ile toplanan veriler kullanılarak kızılçamın 75 yaşa endekslenmiş bonitet değerleri hesaplanmıştır. Bonitet endeksi ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konması adına çoklu regresyon analizi ve regresyon ağacı tekniğine başvurulmuştur.

Çoklu regresyon analizinde elde edilen modeli sıcaklık indeksi değişkeni yapılandırırken, regresyon ağacı tekniğinden elde edilen modeli yıllık yağış, sıcaklık yükü indeksi ve yükselti değişkenleri yapılandırmıştır. Çoklu regresyon analizi sonucunda sıcaklık yükü indeksi ile verimlilik arasında pozitif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Regresyon ağacı tekniğinde yıllık yağışın yaklaşık 470 mm'nin üzerindeki daha fazla sıcaklık yüküne sahip bakıların 326 m'nin altındaki ve üzerindeki yükseltileri için yüksek bonitet endeks değerleri elde edilmiştir. Bilindiği üzere kızılçamın büyüme ve gelişmesinde en önemli faktörlerden birisi yükselti değişkenidir. Ege ve Akdeniz Bölgelerinde kızılçamın en fazla yayılışı 700 m yükseltilere kadar olan kuşakta gösterdiği ifade edilmiştir (Atalay, 2008). Modeldeki bir diğer değişken yıllık yağış miktarı 470 mm üzerindeki alanlarda yüksek bonitet değerleri elde edilmiştir. Çalışma alanında Nazilli, Kuyucak ve Karacasu ilçelerinde örnek alanlarında daha yoğun envanter çalışması gerçekleştirilmiştir. Uzun dönemli yıllık ortalama toplam yağış miktarları Nazilli, Kuyucak ve Karacasu için sırasıyla 569,4 mm, 462,8 mm ve 544,6 mm şeklindedir (Deniz, 2013). Elde edilen ağaç modeldeki en yüksek bonitet endeks değerlerine ait yıllık yağış miktarları ile çalışma alanındaki ilçelerin uzun dönemli yıllık ortalama toplam yağış miktarları birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu alanlar içerisinde özellikle yıllık yağış miktarının 470 mm üzerindeki yerler kızılçamın daha yüksek ortalama bonitet endeks değerlerine ulaşacağını işaret etmekte olup verimlilik modellemesinde elde edilen sonuçlar bakımından önemli olduğu görülmektedir. Coşkun (2017), Büyük Menderes ile Çubukdağı (Buharkent), Babadağ ve Akdağ kütlelerinin düşük yükselti basamaklarında kızılçam ormanlarının yayılış gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca, Acıpayam, Denizli ve Nazilli istasyonlarında Babadağ ve Bozdağ'ın 1000 – 1100 m yükselti seviyelerinde 900 mm, 1500 m yükselti üzerinde ise 1200 mm yıllık yağış miktarı değerlerini ulaştığından bahsetmiştir. Bu yıllık yağış miktarı değerlerinde, 1000 – 1200 m yükseltilere kadar kızılçam ve meşe ormanlarına, bu yükselti değerlerinin üzerinde ise karaçam ormanlarının hâkim olduğunu ifade etmiştir. Ancak, 800 m yükseltiden itibaren meşelerin kaybolduğunu yerini saf kızılçam meşcerelerine bıraktığını belirtmiştir.

Öte yandan, kızılçam gölgeye toleransız bir ağaç türüdür başka bir ifadeyle ışık isteği fazla olan iğne yapraklı ağaç türlerinden birisidir (Saatçioğlu ve Pamay, 1962). Elde edilen ağaç modele göre, yüksek sıcaklık yükü indeksi değerlerine sahip alanlarda bonitet endeks değerlerinin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kızılçam türünün gölgeye toleransız bir ağaç türü olmasından dolayı yani ışık isteği fazla olan iğne yapraklı ağaç türlerinden birisi olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kızılçamın daha çok sıcak bakıların (güney, batı, güneybatı) yani güneşten gelen radyasyonun ve sıcaklığın fazla olduğu yerleri tercih etmesi

türün özellikle bu tip alanlarda daha iyi gelişim göstermesine neden olmaktadır. Bu çalışmada da sıcaklık yükü indeksinin yüksek olduğu yerlerde en yüksek bonitet endeks değerleri (12. ve 13. terminal düğümler) elde edilmiştir. Literatüre bakıldığında, Çelik ve Özkan (2015), tarafından yapılan çalışmada kızılçamın verimlilik modellemesinde en yüksek endeks değerinin elde edildiği terminal düğümü yapılandıran değişkenlerden birinin sıcaklık indeksi olduğu görülmektedir. Buna göre sıcaklık indeksi değerinin yüksek olduğu alanların yani daha sıcak ya da kuru bakılarda kızılçamın daha iyi gelişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan orman amenajman planlarında kızılçam işletmeleri için iyi (I), orta (II) ve kötü (III) olmak üzere üç bonitet sınıfı kullanılmaktadır (Alemdağ, 1962; Eken, 2021). Çalışma alanının bonitet sınıflarına bakılacak olursa, boşluklu kuruluş (8735,6 ha) ve III. bonitet (21064,4 ha) sahaların 29800 ha büyüklüğe sahip olduğu görülmektedir (OGM, 2017). Yani yörenin büyük kısmı kötü bonitete sahip kızılçam meşcerelerinden oluşmaktadır. Özellikle örnek alanların yoğun olarak alındığı orman işletme şefliklerinin bonitet sınıfları incelenecek olursa aktüel durumda III. bonitet sahaların çok fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu tip sahalar da bonitet değerlerinin elde edilen modelleme sonuçlarıyla uyumlu olduğunu tespit edilmiştir.

Kızılçam verimliliği modellemesi sonuçlarının genel bir değerlendirmesi yapılacak olursa, en uygun yerler çalışma alanının kuzey ve güneydoğu kesimlerine denk gelmektedir. Çalışma alanında kızılçam daha çok düşük yükseltiye sahip alanlarda yayılış göstermektedir. Özellikle çalışma alanının orta kısmından geçen Büyük Menderes Ovası yöreyi iki ayırmakta ve bu yerlerin büyük kısmı tarımsal faaliyet alanı olarak değerlendirilmektedir (Sütgibi, 2008). Diğer taraftan, çalışma alanında kızılçam yaklaşık 1000 m ortalama yükseltilere kadar çıkabilmektedir. Yörenin hemen üst kesimlerinde ise karaçam meşcereleri yer almaktadır. Anlaşılabileceği üzere, kızılçam meşcereleri yörede dar bir alanda sıkışmış durumda olduğu görülmektedir. Ayrıca kızılçamın yöre içerisindeki yayılışı da dikkate alındığında Büyük Menderes Ovasının yakınında veya bitişindeki yerlerde de meşcereler kurmasından dolayı antropojenik etkinin fazla olabileceği aşikardır. Yörede Büyük Menderes Ovası'nın var olması ciddi tarımsal faaliyetlerin yapılmasına imkân tanımakta olup bu durum orman ekosistemi üzerinde olumsuz etkilere sahip olabileceği kanaatine varılmıştır. Zira, kızılçamın bonitet endeks değerlerine bakıldığında düşük değerlere sahip olmasının nedenleri arasında bahsi geçen durumların etkisi olduğu düşünülmektedir. Çünkü kızılçam meşcereleri çalışma alanının büyük bir kısmında yukarıda bahsedildiği gibi kötü bonitetli ve boşluklu kuruluşlu meşcerelerden oluşmaktadır. Konu ile ilgili olarak yapılan bazı çalışmalarda benzer sonuçlar incelendiğinde durum daha iyi anlaşılmaktadır. Çukur (1998) tarafından Aydın Dağları ve çevresinde Nazilli – Ödemiş ve Tire – İncirliova kuzey güney hattında kestane, ceviz ve özellikle incir yetiştiriciliğinden dolayı kızılçam meşcerelerinin ciddi oranda tahribe uğradığını belirtmiştir. Bu yüzden 800 – 1000 m yükseltilere kadar kızılçam meşcerelerinin çok zayıf topluluklar oluşturduğundan bahsetmiştir. Karadağ ve Koçman (2007) benzer özelliklere sahip Ödemiş yöresinde düşük yükselti kuşağında kızılçam ve 800 – 1000 m yükseltilerden itibaren karaçam meşcerelerine rastlandığını

ifade etmiştir. Ancak, sadece Ödemiş çevresinde değil aynı zamanda bütün Küçük Menderes Nehri Havzasında doğal bitki örtüsünün uzun yıllar süren antropojenik etkiler yüzünden çok büyük ölçüde tahribe uğradığını ve bunun sonucu olarak kızılçam meşcerelerinin yerini maki ve garig formasyonlarını aldığını vurgulamışlardır. Aktaş (2019), tarafından Aydın dağlarının bir bölümü olan Oyukbaba dağı ve çevresinde yapılan çalışmada da bu durum ifade edilmiştir. Benzer özelliklere sahip çalışma alanında yörenin asli orman ağacı türü kızılçam antropojenik etkiler sonucunda bu sahalardan çekilmiş, yerini halkın gelir getirici türlerden biri olarak kullandığı incir türüne bıraktığını belirtmiştir.

Yukarda bahsi geçen tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin veya antropojenik etkilerin fazla olduğu yerlerde meşcereler zayıf düşmektedir. Özellikle benzer alanlarda meşcereleri sağlığına kavuşturmasında veya yeniden ormanlaştırılmasında birçok zorluklarla karşılaşmaktadır. Verimlilik modellemesi üzerine gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları bu tip alanlarda yapılacak olan tamamlama, ağaçlandırma ve gençleştirme çalışmaları gibi uygulamalarda hedef tür için daha verimli olan alanlara öncelik tanınması veya verimliliğin düşük olduğu yerlerde ise uygun silvikültürel tedbirlerin alınması noktasında uygulayıcılara yarar sağlayacağı düşünülmektedir. Bu sayede, çalışma alanında olduğu gibi boşluklu kuruluştaki ve kötü bonitetteki meşcerelerin veya insan etkisine açık tahrip olmuş meşcerelerin gerek ekonomik gerekse ekolojik ve sosyokültürel bakımdan daha nitelikli hale getirilmesi sağlanacaktır. Diğer taraftan, ekosistem restorasyonu ve koruma gibi ormancılık faaliyetlerinde plan yapıcılara planlama süreçlerinde yardımcı olacağı aşikardır. Zira elde edilen sonuçların model tabanlı olması farklı çalışmalara entegre edilmesine imkân sunmaktadır. Böylece farklı planlama şekillerinde de elde edilen modellerin değerlendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Son olarak, yöre ölçeğinde daha önce böyle bir çalışmanın yapılmamış olması elde edilen sonuçların ve önerilerin ileride araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Açıklama

“Aydın – Horsunlu Yöresinde Kızılçamın Verimlilik Modellemesi” isimli projeye (Başvuru Numarası: 1919B012208771) desteklerinden dolayı TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programına teşekkür ederiz.

Kaynakça

Aktaş, G., 2019. Aydın İli Nazilli ilçesi Oyukbaba dağındaki kestane (*Castanea sativa*) topluluklarının ekolojisi ve ekonomik önemi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.

Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye’deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülteni Serisi No: 11, Ankara.

Atalay, İ., 2008. Ekosistem Ekolojisi ve Coğrafyası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları No: 327. Cilt: II, Ankara.

Bozkurt, A.Y., Göker, Y. 1996. Orman Ürünlerinden Faydalanma II. Cilt. İstanbul Üniversitesi Yayın No 3946, Orman Fakültesi Yayın No 437, İ. Ü. Basımevi, İstanbul.

Bozkurt, A.Y., Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İ.Ü. Yayın No: 3998, Orman Fakültesi Yayın No: 445, İstanbul.

Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J., 1984. Classification and regression trees, Belmont, CA, Wadsworth, International Group, 432: 151-166.

Coşkun, S., 2017. Büyük menderes nehri ile yukarı dalaman çayı arasındaki sahada bitki örtüsünün coğrafi dağılışı. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 10: 49.

Çelik, H., Özkan, K., 2015. Antalya ovacık dağı yöresi’nde kızılçam (*Pinus brutia* Ten.)’ın gelişimi ile yetişme ortamı özellikleri arasındaki ilişkiler. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2): 190-197

Çukur, H., 1998. Ege bölümünün ekosistemleri. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Deniz, M., 2013. Nazilli ilçesinin beşerî ve ekonomik coğrafyası. Doktora Tezi, Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uşak.

De’ath, G., Fabricius, K. E., 2000. Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology, 81(11): 3178-3192.

Eken, F., 2021. Asli Orman Ağaçlarımızın Bonitet, Gövde Hacmi ve Hasılat Tabloları. Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, s: 358s, Ankara.

Erkan, N., 1996. Kızılçam doğal meşcerelerinde artım ve büyümenin değerlendirilmesi. Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2: 33-43.

Eroğlu, H., Usta, M., 2000. Lif Levha Üretim Teknolojisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yayın No: 30, Trabzon, s: 351.

Fırat, F., 1972. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37(12): 4302-4315.

Irmak, A. (1970). Orman Ekolojisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayın No: 149, Taş Matbaası, İstanbul.

Jenness, J., 2006. Topographic position index (TPI) v. 1.2. Jenness Enterprises, Flagstaff, AZ.

Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 354, İstanbul.

Karadağ, A., Koçman, A., 2007. Relation between urbanization development and natural environment process case of Ödemiş-İzmir. Aegean Geographical Journal, 16: 3-16.

Koçak, K., Şenol, H., 2013. Buldan (Denizli) yöresindeki metamagmatik ve magmatik kayaların jeolojisi ve petrografisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 28(1): 11-24.

McCune, B., Keon, D., 2002. Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. Journal of Vegetation Science, 13(4): 603-606.

OGM, 2012. Türkiye Orman Varlığı. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarımız/Turkiye-Orman-Varligi>, Erişim: 10.06.2024

OGM, 2017. Muğla ve Denizli Orman Bölge Müdürlüğü Amenajman Planları. T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, Ankara.

OGM, 2023. Ormancılık İstatistikleri. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>, Erişim: 10.06.2024

Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi- I. Kaan Kitabevi, Eskişehir.

Pearson, K., 1990. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 50(302): 157-175.

Rubel, F., Brugger, K., Haslinger, K., Auer, I., 2017. The climate of the European Alps: Shift of very high resolution Köppen-Geiger climate zones 1800–2100. Meteorologische Zeitschrift, 26(2): 115-125.

- Saatçioğlu, F., Pamay, B., 1962. The importance of *Pinus brutia* in the development of Adana region and its silviculture. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 12 (2): 88.
- Sütgibi, S., 2008. Doğal ekosistemler üzerinde insan faaliyetlerinin doğrudan ve dolaylı etkileri: Büyük Menderes Deltası. Marmara Coğrafya Dergisi, 18: 222-237.
- Şentürk, Ö., Gülsoy, S., Tümer, İ., 2019. Potential distribution modeling and mapping of Brutian pine stands in the inner parts of the Middle Black Sea region in Turkey. Polish Journal of Environmental Studies, 28 (1): 321-327. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81682>
- Taş, M., 2017. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) odun ve kraft kâğıt hamurundaki polyozların tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- USGS, 2024. The U.S. Geological Survey. <https://earthexplorer.usgs.gov>. Erişim: 14.05.2024.
- Ürgenç, S., 1998. Ağaçlandırma Tekniği II. Baskı. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Doğal karaçam meşcereleri için yöresel karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi

Onur Alkan^{a,*} , Ramazan Özçelik^a 

Öz: Bu çalışmada, Isparta-Eğirdir Yöresi doğal karaçam (*Pinus nigra* J. F. Arnold.) meşcereleri için doğrusal karışık etkili çap-boy modelleri geliştirilmiştir. 2021-2022 yılları arasında 135 örnek alandan elde edilen toplam 4271 adet örnek ağaç verisi, modelin parametre tahmini ve kalibrasyon testleri için kullanılmıştır. Model geliştirme grubunda çap ortalaması 34,35 cm, boy ortalaması 15,40 m olarak belirlenirken; test grubunda bu değerler sırasıyla 31,26 cm ve 14,07 m olarak hesaplanmıştır. Farklı kalibrasyon alternatifleri, tahmin performansını artırmak amacıyla 1 ila 10 ağaç kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar, özellikle 5 ve 10 ağaç kalibrasyonu ile modelin tahmin doğruluğunun arttığını göstermiştir. Sabit etkili modele kıyasla karışık etkili modelin hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE) değeri %32 oranında daha düşük bulunmuştur. Çalışma, önerilen modelin orman envanter çalışmalarında karaçam meşcerelerinin ağaç boyu tahmininde etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Boy tahmini, Tahmin performansı, Doğrusal regresyon, Kalibrasyon

Development of regional mixed-effects height–diameter models for natural black pine stands

Abstract: In this study, linear mixed-effects height-diameter models were developed for natural black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold.) stands in the Isparta-Eğirdir region. Data collected from 135 sample plots between 2021 and 2022, consisting of 4,271 sample trees, were used for parameter estimation and calibration testing. The mean diameter and height in the model development group were 34.35 cm and 15.40 m, respectively, while in the test group, these values were 31.26 cm and 14.07 m. Various calibration alternatives, utilizing 1 to 10 trees, were tested to improve prediction performance. The results showed significant improvements in prediction accuracy of the models, especially with calibrations involving 5 or 10 trees. Compared to the fixed-effects model, the mixed-effects model achieved a 32% reduction in the root mean square error (RMSE). The findings suggest that the proposed model is highly suitable for forest inventory studies to predict tree heights in black pine stands.

Keywords: Height prediction, Prediction performance, Linear regression, Calibration

1. Giriş

Karaçam (*Pinus nigra* J. F. Arnold.), ülkemizde toprak ve su kaynaklarının korunması, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması ve biyolojik çeşitliliğin korunması gibi çevresel konularda kritik bir rol üstlenirken aynı zamanda ekonomik açıdan da büyük bir öneme sahip en değerli ağaç türleri arasında yer almaktadır. Ülkemizde karaçam ormanlarının sürdürülebilir yönetimi, türlerin büyüme-gelişim özelliklerine ilişkin güvenilir bilgilerin bulunmasını gerekli kılmaktadır. Ağaç türlerine ilişkin büyüme modellerinin önemli bileşenlerinden bir tanesi de çap-boy ($h-d$) modelleridir. Ağaç boyu orman alanlarından yasa dışı yollarla kesilmiş ağaçların boy tahminlerinde (Peng vd., 2001) meşcere yapısının ve zamana bağlı değişiminin analizinde (Wykoff vd., 1982; Huang vd., 2009) üst boyun ve bonitet endeksinin tahmininde (Calama ve Montero, 2004) karbon tahmin modellerinin geliştirilmesinde (Newton ve Amponsah, 2007) temel bir değişken olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, tek ağaçlarda boy ölçüm işlemi göğüs çapı ölçümüne kıyasla daha zaman alıcı ve yüksek maliyetlidir. Bu nedenle ağaç boylarının tahmininde alt örnekleme

birimlerinden elde edilen boy ölçümleri ve boy tahmin modelleri kullanılarak meşceredeki ya da ilgili alandaki diğer ağaçların boyu tahmin edilmektedir (Alkan ve Özçelik, 2022; Bolat vd., 2022; Seki, 2022; Diamantopoulou vd., 2023; Özçelik vd., 2023; Sağlam ve Sakıcı, 2024).

Genel olarak yöresel $h-d$ modellerinin geliştirilmesinde farklı temel $h-d$ modellerinden (Chapman-Richards, Korf, Schnute, Gompertz, Üsssel vd.) yararlanılmaktadır. Bununla birlikte tek bir modelin her yörede ve her ağaç türünde başarılı sonuçlar üretmesinin mümkün olmayacağı düşüncesi ile temel $h-d$ modellerinin tahmin performansının artırılması ya da iyileştirilmesi amacıyla meşcere yaşı, meşcere sıklığı, tepe tacı yarışma faktörleri (tepe tacı oranı vb.), bonitet endeksi, tür kompozisyonu ve üst boy gibi meşcere değişkenlerinin modele dahil edilmesiyle geliştirilmiş $h-d$ modelleri de üretilmiştir (Huang ve Titus, 1994; Temesgen ve Gadwo, 2004; Adame vd., 2008; Crecente-Campo vd., 2009). Bu modellerin meşcerelere özgü değişkenleri de içermesi nedeniyle temel $h-d$ modellerine göre boy tahminlerinde daha başarılı oldukları ifade edilmiştir.

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, 32260, Isparta

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): onuralkan@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 10.10.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 12.11.2024



Citation (Atf): Alkan, O., Özçelik, R., 2024. Doğal karaçam meşcereleri için yöresel karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 399-407. DOI: [10.18182/tjf.1564710](https://doi.org/10.18182/tjf.1564710)

Bununla birlikte $h-d$ modellerinin geliştirilmesi amacıyla günümüzde farklı modelleme teknikleri de yoğun olarak kullanılmaktadır (Çatal, 2012; Seki ve Sakıcı, 2022; Carus ve Çatal, 2017; Çatal ve Carus, 2018). Bunların başında da karışık-etkili modelleme tekniği gelmektedir. Bu kapsamda pek çok yöre ve ağaç türü için karışık-etkili modelleme tekniği kullanılarak $h-d$ modelleri geliştirilmiştir (Calama ve Montero, 2004; Trincado vd., 2007; Adame vd., 2008; Temesgen vd., 2008; Huang vd., 2009; Crecente-Campo vd., 2009; Özçelik vd., 2013; Mehtatalo vd., 2015; Gomez-García vd., 2015; Özçelik vd., 2018; Ogana ve Gorgoso-Varela, 2020; Bronisz ve Mehtatalo, 2020; Ciceu vd., 2023; Sağlam ve Sakıcı, 2024). Karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilen $h-d$ modellerinin klasik yöntemlerle geliştirilen $h-d$ modellerine göre en önemli üstünlüğü hem topluma özgü (sabit etkili) hem de örneğe özgü (tesadüfi etkili) parametreleri eş zamanlı tahmin edebilmesidir. Karışık-etkili modellerin diğer önemli bir üstünlüğü de ön bilgilerin bulunması durumunda, modelin tahmin performansının artırılması amacıyla kalibrasyonunun yapılabilmesine imkân sağlamasıdır. Yapılan çalışmalar, karışık-etkili modellerin ilave meşcere düzeyinde açıklayıcı değişken olmaksızın $h-d$ değişkenliğini açıklama kapasitesinin yeterli olduğunu göstermiştir (Trincado vd., 2007; Huang vd., 2009; Temesgen vd., 2014).

Karışık-etkili modellerin kalibrasyonu amacıyla farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, farklı ağaç sayıları ve örnek ağaç seçim stratejileri test edilmiştir. Trincado vd. (2007), Castedo-Dorado vd. (2006) ve VanderSchaaf (2012; 2013) yaptıkları çalışmada karışık-etkili modelin kalibrasyonu için tesadüfi seçilen 3 ağacın yeterli olacağını ifade ederken Kalbi vd. (2018) ve Özçelik vd. (2018) 4 ağacın yeterli olacağını belirtmiştir. Yine Huang vd. (2009) ve Ciceu vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda modelin tahmin performansının iyileştirilmesi amacıyla yapılacak kalibrasyon işleminde tesadüfi seçilen 6 ağacın kullanılmasının yeterli olacağı ortaya konulmuştur. Raptis vd. (2021) ise kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısının artmasına bağlı olarak modelin tahmin performansının iyileştiğini bununla birlikte Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) değerlerindeki azalış oranları dikkate alındığında en başarılı sonuçların

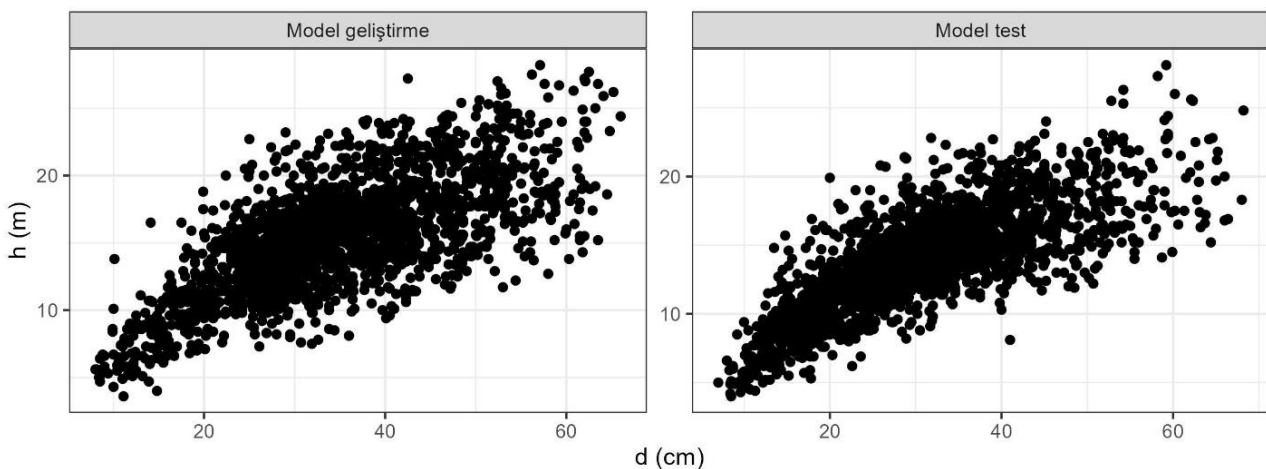
kalibrasyon amacıyla 2 ağaç kullanılması ile elde edildiğini ifade etmiştir. Bronisz ve Mehtatalo (2020) tarafından yapılan çalışmada, karışık-etkili modelin tahmin doğruluğu ve tutarlılığının hem kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısına hem de örnek ağaç seçim stratejilerine bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Bu çalışmada, Isparta-Eğirdir Yöresi doğal karaçam meşcereleri için doğrusal karışık etkili $h-d$ modeli geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında modelin tahmin performansının iyileştirilmesi amacıyla farklı kalibrasyon alternatifleri de test edilmiştir. Bu amaçla her örnek alandan tesadüfi olarak seçilen 1-10 adet ağaç geliştirilen doğrusal karışık-etkili modelin kalibrasyonu için kullanılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma için gerekli örnek ağaç verileri, 2021-2022 yılları arasında Isparta Orman Bölge Müdürlüğü Eğirdir Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki doğal ve saf karaçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Bu kapsamda 135 örnek alanda toplam 4271 adet örnek ağaçta çap (d) ve boy (h) ölçümleri yapılmıştır. Türün yetiştirme ortamı koşullarını ve farklı bonitet sınıflarını temsil edebilmek amacıyla, mümkün olduğunca örnek alanların farklı bonitet, bakı, yükselti ve gelişme çağlarından seçilmesine özen gösterilmiştir. Örnek alan büyüklükleri her örnek alana yaklaşık 30 ağaç girecek şekilde belirlenmiş olup 250 m² ile 1800 m² arasında değişmiştir. Örnek alanlarda, tüm ağaçların göğüs yüksekliği çapları elektronik çap ölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetle, ağaç boyları ise lazer boy ölçer ile 10 cm hassasiyetle ölçülmüştür. Çalışma kapsamında ölçümü yapılan örnek alanlar eşit sayıda örnek alan içerecek şekilde tesadüfi olarak iki gruba ayrılmıştır. I grup veriler doğrusal karışık-etkili modellerin parametre tahminleri amacıyla; II. grup veriler ise geliştirilen modellerin model tahmin performansının artırılması amacıyla farklı kalibrasyon alternatiflerini test etmekte kullanılmıştır. Her iki gruba ilişkin $h-d$ grafikleri Şekil 1'de; örnek ağaçlara ilişkin bazı tanımlayıcı istatistikleri ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Model geliştirme ve model test verilerinin çap-boy ilişkileri
Figure 1. Diameter-height relationships for model development and test data

Çizelge 1. Çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan verilere ilişkin tanımlayıcı istatistikler
Table 1. Descriptive statistics of the data used for the development of diameter-height models

Değişken	n	Ortalama	SD	Minimum	Maksimum
		Model geliştirme verisi			
d (cm)		34,35	11,16	8,00	66,00
h (m)		15,40	4,04	3,60	28,20
Alan (m ²)	2152	889,29	360,28	250,00	1800,00
N (Ağaç ha ⁻¹)		461,00	264,44	100,00	1365,08
G (m ² ha ⁻¹)		41,46	22,09	9,94	144,52
Model test verisi					
d (cm)		31,26	11,14	7,00	68,20
h (m)		14,07	3,62	4,00	28,10
Alan (m ²)	2119	814,37	338,26	300,00	1800,00
N (Ağaç ha ⁻¹)		484,74	227,06	116,67	1244,44
G (m ² ha ⁻¹)		34,65	11,87	16,18	78,63

d, kabuklu göğüs yüksekliği çapı; h, ağaç boyu; n, ağaç sayısı; SD, standart sapma.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada, h - d ilişkilerinin modellenmesi amacıyla Arabatzis ve Burkhardt (1992), tarafından önerilen ve bu amaçla yaygın olarak kullanılan üssel fonksiyon kullanılmıştır. Bu modelin matematiksel ifadesi, göğüs çapının bir fonksiyonu olarak aşağıda verilmiştir.

$$h = \beta_0 d^{\beta_1} \quad (1)$$

Bu formülde, h ağaç boyunu ve d ağacın göğüs yüksekliği çapını ifade etmektedir. Bu formüldeki β_0 parametresi artış oranını ve β_1 parametresi ise, bu eğrinin şeklini düzenlemektedir. Denklem (1) ile göğüs çapı $d = 0$ olduğu zaman da ağaç boyunun tahmin edilebilmesi amacıyla aşağıdaki şekilde yeniden düzenlenebilir.

$$h = 1.30 + \beta_0 d^{\beta_1} \quad (2)$$

Model, denklemin her iki tarafının logaritması alınarak aşağıdaki doğrusal forma da dönüştürülebilir.

$$\ln(H) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(d) \quad (3)$$

Denklemden $H = h - 1.30$ 'a eşittir.

Denklem (3), karışık-etkili model formu içinde, model yapısı bozulmadan hem sabit etkili hem de tesadüfi etkili parametreleri birlikte içerecek şekilde aşağıdaki şekilde düzenlenebilir.

$$\ln(H_{ki}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d_{ki}) + b_{0k} + b_{1k} \ln d_{ki} + \varepsilon_{ki} \quad (4)$$

Burada, H_{ki} k . örnek alandaki i . ağacın 1.30 m'nin üstündeki boyunu, d_{ki} yine aynı k . örnek alandaki i . ağacın göğüs çapı, β_0 ve β_1 sabit etkili parametreleri (topluma özgü parametreleri) ve b_{0k} ve b_{1k} ise k . örnek alana ait tesadüfi etkili parametreleri (örnek alana özgü parametreleri), ε_{ki} ise tesadüfi hatayı ifade etmektedir. Çalışmada, toplam boy yerine 1.30 m'nin üstündeki boyun kullanılmasının temel nedeni, orman envanter çalışmalarında h - d modellerinin geliştirilmesinde standart olarak bu ölçümün kullanılmasıdır. Göğüs yüksekliği (1,30 m) üzerinde kalan boy, hem modelleme çalışmalarında daha yaygın olarak tercih edilmekte hem de ölçüm kolaylığı ve veri tutarlılığı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, modeldeki değişkenler arasındaki ilişkilerin daha iyi açıklanmasına ve modelin

genellenebilirliğine katkı sunmaktadır. Ayrıca, göğüs yüksekliği altındaki boy kısmının, ağaçların farklı büyüme aşamalarında daha fazla varyasyon gösterdiği ve modelin tahmin performansını olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir (Calama ve Montero, 2004; Trincado vd., 2007).

Doğrusal karışık-etkili modelin genel formu aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir (Trincado vd. 2007; VanderSchaaf, 2014).

$$Y_i = X_i \beta + Z_i \beta_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

Bu genel model formu aşağıdaki matrisleri içermektedir.

$$Y'_k = [\ln(H_{k1}), \dots, \ln(H_{kn_k})]$$

$$X'_k = Z'_k = [1 \ln(d_{k1}), \dots, 1 \ln(d_{kn_k})]$$

$$\beta' = [\beta_0 \quad \beta_1]$$

$$b'_k = [b_{0k} \quad b_{1k}]$$

Buradaki bütün parametreler karışık etkili olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte $X'_k = Z'_k$ olduğu, tesadüfi etkili parametreler için aşağıdaki varyans (var)-kovaryans (cov) yapısının ve tesadüfi hataların var olduğu da kabul edilmektedir.

$$D = \text{Var}[b_k] = \begin{pmatrix} \text{Var}(b_0) & \text{Cov}(b_0, b_1) \\ \text{Cov}(b_0, b_1) & \text{Var}(b_1) \end{pmatrix}$$

$$R_k = \text{Var}[\varepsilon_k] = \sigma^2 I_{n_k}$$

Bu varyans yapısı altında, tesadüfi hataların ilişkisiz ve sabit bir varyansa (σ^2) sahip oldukları kabul edilmektedir. Bu formülde ye alan I_{n_k} boyutu $n_k \times n_k$ olan birim matristir. Doğrusal karışık-etkili h - d modeline ilişkin parametre tahminleri SAS programındaki PROC MIXED yaklaşım ile gerçekleştirilmiştir (SAS, 2011; Wang vd., 2020).

2.3. İstatistiksel değerlendirme

Geliştirilen doğrusal karışık-etkili model, model test grubundaki her bir örnek alan için sadece sabit etkili yanıtları (topluma özgü sonuçlar) ve tesadüfi parametrelerin tahmini

ile elde edilen daha karmaşık bir model (kalibre edilmiş sonuçlar) için değerlendirilmiştir. Tesadüfi parametrelerin tahmini ya da kalibrasyon alternatifleri, bir örnek alandan tesadüfi olarak seçilen örnek ağaç sayısına bağlı olarak ortaya konmuştur. Bu amaçla kalibrasyon işlemi için modelin test edilmesi amacıyla ayrılan örnek alanlardan tesadüfi olarak seçilen 1, 2, 3, 4, 5 ve 10 ağaç kullanılarak modellerin tahmin performanslarındaki değişim ortaya konmuştur. Modelin tahmin performanslarında farklı kalibrasyon alternatifleri için ortaya çıkan durumların değerlendirilmesi amacıyla Arabatzis ve Burkhart (1992) tarafından önerilen yöntem uygulanmıştır. Bu amaçla, bir örnek alandaki her bir ağaç için ölçülen ve tahmin edilen ağaç boyu farkları hesaplanmış daha sonra her bir örnek alan için ortalama hatalar (\bar{e}_k) ve hataların örnek varyansı (v_k) hesaplanmıştır. Bunlar hata ve doğruluğun tahmini olarak kabul edilmiştir. Hata kareler ortalaması (MS_k)'nın tahmini; hata ve doğruluk ölçülerinin birleştirilmesi ile ve aşağıdaki formül yardımı ile elde edilmiştir.

$$MS_k = \bar{e}_k^2 + v_k \quad (6)$$

Bu istatistiksel değerlendirmeler hem sadece sabit etkili parametreleri kullanan model için hem de sabit etkili ve tesadüfi etkili parametreleri birlikte kullanılarak geliştirilen karışık-etkili modeller için gerçekleştirilmiştir. Sabit etkili model ve farklı sayıda örnek ağaç kullanılarak kalibre edilen karışık etkili modellerin tahmin başarılarının karşılaştırılmasında, Poudel ve Cao (2013) tarafından

önerilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda, bir sabit etkili model ve 6 farklı kalibrasyon alternatifi içeren karışık etkili model ile toplam 7 farklı yöntemin tahmin başarıları değerlendirilmiştir. Nispi sıralama sistemine göre, en iyi ve en kötü yöntemler sırasıyla 1 ve 7 sıralarını alırken, diğer yöntemlerin sıraları 1 ile 7 arasında gerçek sayılar olarak belirlenmiştir. Bu yöntem, değerlendirme istatistiklerinin sadece sırasını değil, aynı zamanda büyüklüğünü de dikkate aldığı için geleneksel sıralamalardan daha fazla bilgi sunmaktadır (Özçelik vd., 2022).

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Sabit etkili ve karışık etkili model için parametre tahminleri

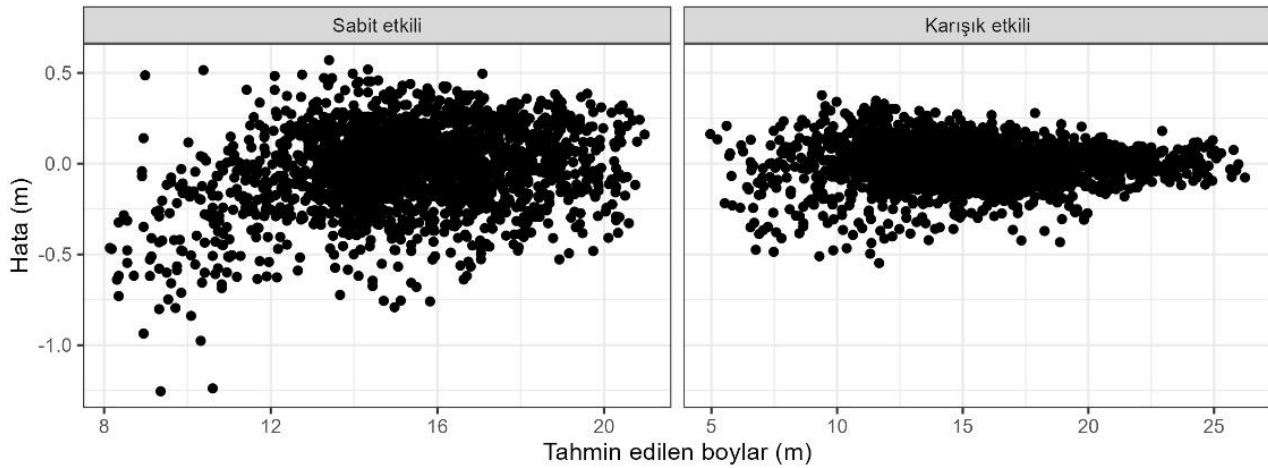
Karaçam için model geliştirme ya da diğer deyimle I. grup veriler ve doğrusal karışık-etkili model kullanılarak elde edilen parametre tahminleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bütün parametre tahminleri $p < 0.0001$ önem düzeyinde anlamlıdır.

Şekil 2'de ise doğrusal karışık-etkili model ve sabit etkili model ile model geliştirme verileri için elde edilen hata dağılımları görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde, doğrusal karışık-etkili modeller ile elde edilen hata dağılımlarının sadece sabit etkili parametreler kullanılarak elde edilen tahminlerin hata dağılımlarına göre daha küçük ve daha homojen bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Özellikle ağaç boyunun artmasına bağlı olarak doğrusal karışık-etkili modelin tahmin performansının iyileştiği söylenebilir.

Çizelge 2. Parametre tahminleri ve uyum istatistikleri
Table 2. Parameter estimates and goodness-of-fit statistics

	Parametreler						Uyum istatistikleri	
	β_0	β_1	Varyans Bileşenleri		$Cov(\beta_0, \beta_1)$	σ^2	-2LL	AIC
Tahmin	0,8816	0,5007	0,5355	0,02792	-0,1204	0,01649	-2369	-2361
SE	0,1003	0,2406	0,1178	0,00661	0,02769	0,00052		

SE, standart hata.



Şekil 2. Sabit etkili ve karışık etkili modeller için hataların tahmin edilen boy değerlerine göre dağılımı
Figure 2. Scatter plots of residuals according to predicted heights for fixed- and mixed-effects models

3.2. Model kalibrasyonu ve kalibrasyon alternatifleri

Geliştirilen modelin tahmin performansının artırılması amacıyla farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiştir. Günümüze kadar yapılan benzer konudaki çalışmalar, ağaç boy tahminleri için, kalibre edilmiş sonuçların popülasyon ortalamalarının kullanımına göre daha doğru sonuçların alınmasına yardımcı olmuştur (Trincado vd., 2007; Huang vd., 2009; Özçelik vd., 2013; Gomez-García vd., 2015; Özçelik vd., 2018; Bronisz ve Mehtätalo, 2020; Ciceu vd., 2020). Bu amaçla her örnek alanda tesadüfi seçilen sırasıyla 1, 2, 3, 4, 5 ve 10 adet örnek ağaç kullanılarak geliştirilen doğrusal karışık-etkili model kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyon alternatiflerinden elde edilen sonuçlar aşağıda Çizelge 3'te ve Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Çizelge 3'ten de görülebileceği gibi, bütün kalibrasyon alternatifleri ile elde edilen boy tahminleri sabit etkili modele göre kullanılan model ölçüt değerleri itibariyle daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur. Sabit etkili model ve karışık-etkili modelin farklı kalibrasyon alternatifleri için ürettiği ortalama hata, hata varyansı ve Kök Ortalama Kare Hatası ölçütleri (RMSE) kullanılarak modellerin Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen yöntemle nispi sıraları belirlenmiştir. Sabit etkili model ve farklı kalibrasyon alternatifleri için elde edilen nisbi sıra değerleri de Çizelge 3'te verilmiştir. Farklı kalibrasyon alternatiflerinin nisbi sıra değerleri incelendiğinde; modellerin nisbi sıraları itibariyle en başarısız modelin sabit etkili parametreleri içeren model olduğu görülmektedir. 5 ve 10 tesadüfi ağaç kullanılarak gerçekleştirilen kalibrasyon işlemlerinin modelin tahmin performansları açısından en başarılı alternatifler olduğu görülmekle birlikte 5'ten fazla ağaç kullanılmasının modelin tahmin performansı üzerinde büyük etki yapmadığı görülmektedir. Envanter maliyetleri ile modelin tahmin performansı arasındaki fayda-maliyet dengesi düşünüldüğünde, model performansının artırılması amacıyla her örnek alanda en fazla tesadüfi seçilecek 5 ağacın kalibrasyon için yeterli olacağı değerlendirilmiştir. Benzer konuda yapılan diğer çalışmalarda da modelinin kalibrasyonu amacıyla 3-5 örnek ağacın yeterli olacağı ifade edilmektedir. Xie vd. (2022) tarafından belirtildiği gibi, önceden ölçülen örnek ağaçların sayısının belirlenmesi, orman envanteri maliyetleri ve zaman açısından kritik bir öneme sahiptir. Daha önceki çalışmalarda, örnekleme çalışmalarında kalibrasyon için kullanılacak olan ağaç sayısının artırılmasının, modelin tahmin başarısını olumlu yönde etkilediği gösterilmiştir (Temesgen vd., 2008; Huang vd., 2009; Teshome vd., 2024). Bu çalışmada da farklı modelleme yaklaşımlarının kalibrasyonu için kullanılan örnek ağaç sayısının artmasıyla birlikte, modellerin ortalama hata ve RMSE değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer çalışmalar incelendiğinde, model kalibrasyonu için Calama ve Montero (2004) 4 ağaç; Temesgen vd. (2008) 1-15 arasında değişen sayıda ağaç; Teshome vd. (2024) ve Huang vd. (2009) 1-9 ağaç kullanmayı tavsiye etmiştir. Xie vd. (2022) ile Ciceu vd. (2020) ise her örnek alandan seçilecek 6 ağacın farklı modelleme yaklaşımlarının kalibrasyonu için yeterli olacağını belirtmiştir. Diğer yandan, Trincado vd. (2007), her örnek alandan 3 ağacın kalibrasyon için yeterli olacağını ve daha fazla örnek ağacın kullanılmasının tahmin performansında anlamlı bir fark yaratmayacağını ifade etmiştir. Sharma ve Parton (2009) ise genel olarak model kalibrasyonu için modelin tahmin performansı ile veri toplama maliyeti arasındaki dengeyi göz önünde bulundurarak 4 ila 9 ağaç arasında seçim yapmanın uygun

olacağını belirtmiştir. Bu çalışmada ve Sharma ve Parton (2009) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar arasında bir uyum olduğu görülmektedir. Model test verileri kullanarak sabit etkili model ile farklı kalibrasyon alternatifleri için elde edilen hata dağılımı grafikleri ise Şekil 4'te verilmiştir. Bu grafiklerin incelenmesinden de görüleceği gibi kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısının artmasına bağlı olarak modelin hata dağılımları daha homojen bir hale dönüşmüştür. Bu iyileşme kalibrasyon için 5 ve 10 ağaç kullanılan durumlarda ise nispeten daha tedrici olmuştur. Elde edilen sonuçlardan genel bir değerlendirme yapılacak olursa; Trincado vd. (2007) ve VanderSchaaf (2014) tarafından da ifade edildiği gibi; kalibrasyon için sadece bir ağacın kullanılması durumunda dahi boy tahminlerinde önemli ölçüde iyileşme gözlenmektedir.

3.3. Karışık etkili modelleme tekniği ile ağaç boyunun tahminine ilişkin örnek uygulama

Karışık etkili *h-d* modeli hem tüm topluma ilişkin ortalama sonuçları hem de örneğe ilişkin özel sonuçları vermesi nedeniyle geleneksel en küçük kareler yöntemine göre önemli üstünlükler taşımaktadır. Aşağıda hem sabit etkili modelleme hem de karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak doğrusal model ile ağaç boyu tahmininin yapıldığı örneklenmiştir.

3.3.1. Ortalama yanıt (sadece sabit etkili parametreler)

Bir örnek alan için toplum ortalamaları Denklem (4)'ün sadece sabit etkili kısmı (β_0 ve β_1) kullanılarak elde edilebilir.

Bu denklem Çizelge 2'deki parametre tahminleri ile aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\ln(H) = 0,8816 + 0,5007 \ln d \quad (7)$$

Bununla birlikte gerçek ağaç boyunun tahmin edilebilmesi için bu denklemden tahmin edilen değerlerin orijinal birimlerine dönüştürülmesi gereklidir. Bu dönüştürme sırasında ortaya çıkacak hata mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve işleme dahil edilmelidir. Baskerville (1972), bu amaçla hatasız bir dönüştürme için bir düzeltme faktörü önermiştir.

Bu düzeltme faktörü, Çizelge 2'deki tahmin edilen hata varyansı kullanılarak hesaplanabilmektedir. Bu değer doğal karaçam meşcereleri için $\sigma^2/2$ (0,01649/2=0,008245)'dir. Denklem düzeltme faktörünün eklenmesi ile aşağıdaki yapıya sahip olmaktadır.

$$\ln(H) = 0,8816 + 0,5007 \ln(d) + 0,008245 \quad (8)$$

Doğrusal formdaki denklem (8) aşağıdaki orijinal formuna dönüştürülebilmesi amacıyla denklemin sol tarafında yer alan h değerinin logaritmadan kurtarılması için gerekli işlemler yapıldığında aşağıdaki denklem elde edilmektedir. Bu denkleme boyu 1.30 olan ağaçlarında boyunun tahminine imkân sağlayacak şekilde 1.30 değeri de eklenmiştir.

$$h = 1,30 + 2,4549d^{0,5007} \text{ (Sabit etkili model)} \quad (9)$$

Çizelge 3. Farklı kalibrasyon alternatifleri için ortalama tahmin hatası ($\bar{\epsilon}$), ortalama hata varyansı (v) ve RMSE değerleri

Table 3. Mean prediction error ($\bar{\epsilon}$), mean error variance (v), and RMSE values for different calibration alternatives

Ağaç sayısı	Hata ($\bar{\epsilon}$)	Hata varyansı (v)	RMSE	Nispi sıra
0 (Sabit etkili)	-0,6316	2,4470	2,3223	7,00
1	-0,0856	2,4567	1,8447	3,89
2	-0,1393	2,4548	1,7367	3,71
3	-0,1500	2,4459	1,6790	3,19
4	-0,1418	2,4381	1,6262	2,65
5	-0,1106	2,4220	1,6155	1,78
10	0,1047	2,4082	1,5673	1,00

3.3.2. Kalibre edilmiş yanıtlar (sabit ve karışık etkili parametrelerin kombinasyonu)

Karışık etkili model, Denklem (4) için tesadüfi etkili parametrelerin tahmini ile herhangi bir örnek alan için ortalama yanıtların kalibrasyonuna izin vermektedir. Kalibre edilmiş yanıtların kullanımı herhangi bir örnek alan için tahmin edilen boy değerlerinin doğruluğunun artırılmasına imkân vermektedir. Tesadüfi parametrelerin tahmini aşağıdaki formül yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

$$\hat{b}_i = DZ_i'W_i(Y_i - X_i\hat{\beta}) \quad (10)$$

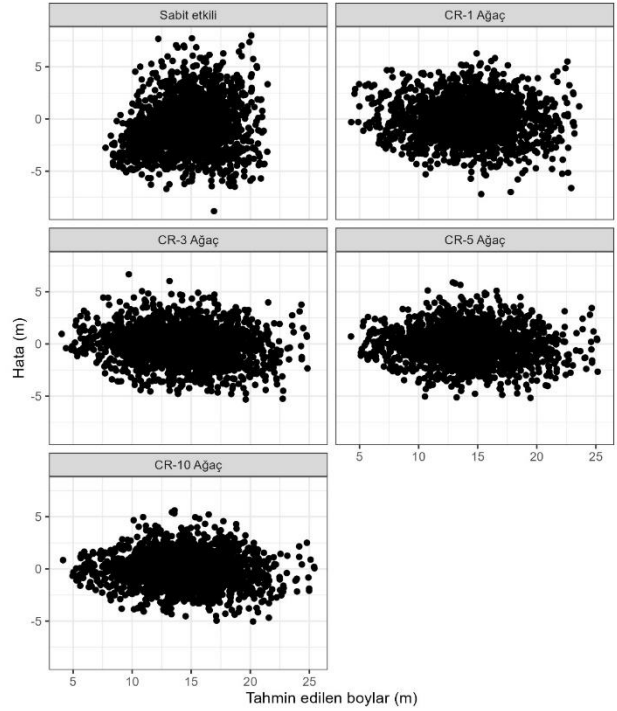
Burada, $W_i = V^{-1} = [Z_i DZ_i' + R_i]^{-1}$ dir.

Boyutları gözlem sayısına eşit bir matrisin ters çevrilmesi gerekmektedir (Lappi, 1991). Tahmin hatalarının varyans-kovaryans matrisi $Var[b_i - \hat{b}_i] = [Z_i'R_i^{-1}Z_i' + D_i^{-1}]^{-1}$ şeklinde yazılabilmektedir.

$$\hat{u}_k = \hat{D}Z_k'(\hat{R}_k + Z_k\hat{D}Z_k')^{-1}(Y_k - X_k\hat{\beta}) \quad (11)$$

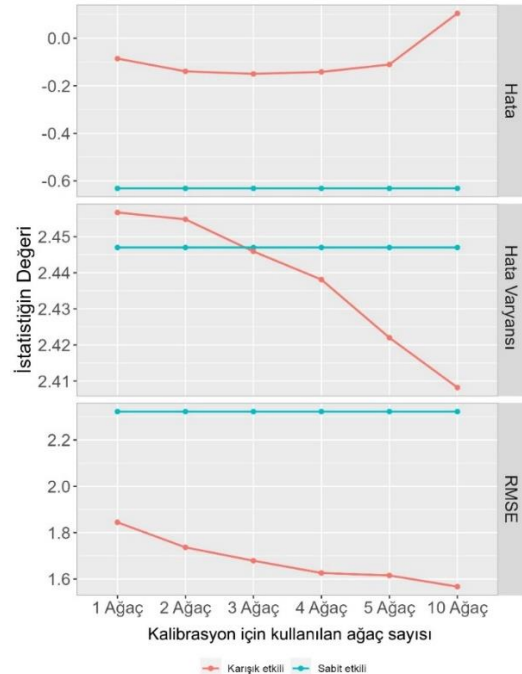
Burada, \hat{u}_k 2×1 her biri 2 boyutlu bir vektörden oluşan ve k . örnek alan için tahmin edilen tesadüfi etkileri ifade etmektedir. Bu vektör, örnek alana özgü iki farklı tesadüfi etkili parametreyi (örneğin, β_0 ve β_1) içermektedir. \hat{D} ise tesadüfi etkiler için tahmin edilmiş 2×2 büyüklüğündeki bir varyans-kovaryans matrisi; Z_k , k . örnek alanın ölçülmüş ağaç çaplarını içeren ($n_k \times 2$) büyüklüğündeki tesadüfi etki matrisini, \hat{R}_k ise, tahmin edilen varyans-kovaryans tesadüfi hata matrisini ifade etmektedir. Bu formülde, her bir örnek alandaki tesadüfi etkilerin modele dahil edilmesine rağmen, örnek alanlar arasındaki varyansın sabit olduğu (homoskedastisite) varsayılmaktadır. Bu, modelin genel tahmin doğruluğunu artırmak ve matematiksel çözümleri basitleştirmek amacıyla yapılmıştır. Ancak, bu varsayımın geçerliliği modelin uyum istatistikleri ve artık analizleri ile doğrulanmalıdır. Ayrıca, örnek alanlar arasındaki varyansın sabit olmaması durumunda, heteroskedastik yapılar veya varyans-kovaryans matrisi içinde alternatif modelleme yaklaşımları kullanılabilir.

Tesadüfi etkili parametrelerin tahmini için her örnek alanda tesadüfi seçilen ağaçların $h-d$ değerleri için kalibrasyon işlemi gerekmektedir. Bu amaçla 21 nolu örnek alandan tesadüfi olarak üç örnek ağaç seçilmiş ve bu ağaçların çap ve boy değerleri kullanılmıştır. Parametrelerin tahmin edilen varyans ve kovaryans değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Bu nedenle tesadüfi katsayıların varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki oluşturulabilir.



Şekil 3. Farklı kalibrasyon alternatifleri ve sabit etkili model ile elde edilen hata değerlerinin tahmin edilen boy değerlerine göre dağılımı.

Figure 3. Distribution of error statistics obtained from different calibration alternatives and the fixed-effects model according to the predicted heights.



Şekil 4. Ortalama tahmin hatası, hata varyansı ve RMSE değerlerinin farklı kalibrasyon alternatifleri itibarıyla değişimi

Figure 4. Variation of mean prediction error, error variance, and RMSE values across different calibration alternatives

$$\text{Var}[b] = D = \begin{bmatrix} \sigma_0^2 & \sigma_{01} \\ \sigma_{01} & \sigma_1^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5355 & -0,1204 \\ -0,1204 & 0,02792 \end{bmatrix}$$

$$\hat{R} = \begin{bmatrix} 0,01649 & 0 & 0 \\ 0 & 0,01649 & 0 \\ 0 & 0 & 0,01649 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,8816 \\ 0,5007 \end{bmatrix}$$

D , \hat{R} ve $\hat{\beta}$ için gerekli sayısal değerler Çizelge 2’de verilmiştir.

$$Z = \begin{bmatrix} 1 & \ln(31,0 \text{ cm}) \\ 1 & \ln(25,4 \text{ cm}) \\ 1 & \ln(37,0 \text{ cm}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3,433987 \\ 1 & 3,234749 \\ 1 & 3,610918 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \ln(31,0 \text{ cm}) \\ 1 & \ln(25,4 \text{ cm}) \\ 1 & \ln(37,0 \text{ cm}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3,433987 \\ 1 & 3,234749 \\ 1 & 3,610918 \end{bmatrix}$$

Z ve X de yer alan bütün değerler tesadüfi olarak seçilen üç örnek ağaç için belirli bir örnek alandan temin edilmiştir. Burada, \hat{R} , Z , X ve y matrislerinin boyutları modelin kalibrasyonu için seçilecek ağaçların sayısına göre değişebilmektedir.

$$Y = \begin{bmatrix} \ln(15,3 - 1,30) \\ \ln(14,2 - 1,30) \\ \ln(17,4 - 1,30) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,639067 \\ 2,557227 \\ 2,778819 \end{bmatrix}$$

$$(Y - X\hat{\beta}) = \begin{bmatrix} 2,639067 - (0,8816 + 0,5007x \ln(31,0)) \\ 2,557227 - (0,8816 + 0,5007x \ln(25,4)) \\ 2,778819 - (0,8816 + 0,5007x \ln(37,0)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,639067 - 2,600987 \\ 2,557227 - 2,501239 \\ 2,778819 - 2,689587 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,03808 \\ 0,05599 \\ 0,08923 \end{bmatrix}$$

Denklem (4)’te görüldüğü gibi, matris çözüldüğü zaman tesadüfi parametreler için aşağıdaki değerler elde edilmektedir.

$$\hat{u} = \begin{bmatrix} 0,14732 \\ -0,02785 \end{bmatrix}$$

Bu kalibrasyon işleminden sonra, tesadüfi ve sabit etkili parametreleri birlikte içeren doğrusal karışık etkili model aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ln H = 0,8816 + 0,5007 * \ln(d) + 0,14732 - 0,02785 * \ln(d) \quad (12)$$

Model sabit etkili modelde olduğu gibi orijinal formuna dönüştürüldüğünde aşağıdaki denklem elde edilmektedir.

$$h = 1,30 + 2,8212 * d^{0,4729} \quad (\text{Karışık etkili model}) \quad (13)$$

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Isparta-Eğirdir yöresindeki doğal karaçam meşcereleri için doğrusal karışık-etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak $h-d$ modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla basit üssel fonksiyon kullanılarak model önce doğrusal forma dönüştürülmüş, ardından doğrusal karışık etkili modelleme tekniği ile $h-d$ modelleri geliştirilmiştir. Tesadüfi etkili parametre tahmininde en iyi doğrusal yansız tahmin için (EBLUP) yöntemi uygulanmış ve tesadüfi olarak örnek alanların yarısı model geliştirmek diğer yarısı ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Karışık etkili modelleme, her örnek alan için ortalama yanıtların ve topluma özgü parametrelerin kalibrasyonuna olanak tanıyarak, daha yüksek doğrulukta ağaç boyu tahminleri yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada, 6 farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiş ve popülasyon ortalamalarına (sabit etkili model) göre daha başarılı tahminler elde edilmiştir. Farklı kalibrasyon alternatifleri arasında, en iyi sonuçlar 10 ağaç kullanıldığında elde edilmiştir. Ancak, sabit etkili modelle kıyaslandığında model performansındaki artışlar göz önünde bulundurulduğunda, 5 ve 10 örnek ağaç seçilerek yapılan kalibrasyon işlemlerinde modelin tahmin performansları arasında kullanılan ölçüt değerleri itibariyle önemli farklar görülmemiştir. Bu nedenle, karaçam meşcereleri için 5 ağaç ile yapılan kalibrasyon işleminin yeterli olduğu söylenebilir. Daha geniş alanlar söz konusu olduğunda ise 10 ve üzeri ağaç kullanımı önerilmektedir.

Bu çalışmada görüldüğü gibi, $h-d$ modellerinin geliştirilmesinde karışık etkili modelleme tekniği kullanıldığında, model performansını veya tahmin doğruluğunu artırmak için ekstra değişken kullanımına gerek kalmayacağı düşünülmektedir. Bu da zaman ve maliyet açısından önemli tasarruflar sağlamaktadır.

Açıklama

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 120R080 ve 122R010 numaralı projeler kapsamında elde edilen verilerle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Adame, P., del Río, M., Canellas, I., 2008. A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest ecology and management*, 256(1-2): 88-98.
- Alkan, O., Özçelik, R., 2022. Eğirdir yöresi doğal karaçam meşcereleri için çap-boy modeli: Kantil regresyon yaklaşımı. *Turkish Journal of Forestry*, 23(3): 187-195.
- Arabatzis, A.A., Burkhart, H.E., 1992. An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations. *Forest Science*, 38(1): 192-198.
- Baskerville, G.L., 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Canadian Journal of Forest Research*, 2(1): 49-53.
- Bolat, F., Ürker, O., Günlü, A., 2022. Nonlinear height-diameter models for Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) in Dumanlı Forest Planning Unit, Çanakkale/Turkey. *Austrian Journal of Forest Science*, 139(3): 199–220.
- Bronisz, K., Mehtätalo, L., 2020. Seemingly unrelated mixed-effects biomass models for young silver birch stands on post-agricultural lands. *Forests*, 11(4): 381.
- Calama, R., Montero, G., 2004. Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(1): 150-163.
- Carus, S., Çatal, Y., 2017. Comparison of some diameter-height models for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) afforestations in Ağlasun region. *Turkish Journal of Forestry*, 18(2): 94-101.
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Anta, M.B., Rodríguez, M.S., von Gadow, K., 2006. A generalized height–diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 229(1-3): 202-213.
- Ciceu, A., Chakraborty, D., Ledermann, T., 2023. Examining the transferability of height–diameter model calibration strategies across studies. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, cpad063.
- Ciceu, A., García-Duro, J., Seceleanu, I., Badea, O., 2020. A generalized nonlinear mixed-effects height–diameter model for Norway spruce in mixed-uneven aged stands. *Forest Ecology and Management*, 477: 118507.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A.R., Diéguez-Aranda, U., 2009. A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of forest science*, 66(8): 808.
- Çatal, Y., Carus, S. 2018. A height-diameter model for brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) plantations in Southwestern Turkey. *Applied Ecology & Environmental Research*, 6(2): 1445-1459.
- Çatal, Y., 2012. Göller yöresinde Yalancı akasya, Anadolu karaçamı ve Toros sediri ağaç türleri için çap-boy modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2): 92-96.
- Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R., Koparan, B., Alkan, O. 2023. Artificial intelligence as an alternative modelling strategy for reliable height-diameter predictions of mixed-oaks species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(2): 228-241.
- Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Cunha, M., Rodríguez-Soalleiro, R. 2016. Comparison of harvest-related removal of aboveground biomass, carbon and nutrients in pedunculate oak stands and in fast-growing tree stands in NW Spain. *Forest Ecology and Management*, 365: 119-127.
- Gomez-García, E., Fonseca, T.F., Crecente-Campo, F., Almeida, L. R., Dieguez-Aranda, U., Huang, S., Marques, C.P.: 2015. Height-diameter models for maritime pine in Portugal: a comparison of basic, generalized and mixed-effects models. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 9(1): 72.
- Huang, S., Titus, S.J., 1994. An age-independent individual tree height prediction model for boreal spruce–aspen stands in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research*, 24(7): 1295-1301.
- Huang, S., Wiens, D.P., Yang, Y., Meng, S.X., Vanderschaaf, C.L., 2009. Assessing the impacts of species composition, top height and density on individual tree height prediction of quaking aspen in boreal mixedwoods. *Forest ecology and management*, 258(7): 1235-1247.
- Kalbi, S., Fallah, A., Bettinger, P., Shataee, S., Yousefpour, R., 2018. Mixed-effects modeling for tree height prediction models of Oriental beech in the Hyrcanian forests. *Journal of Forestry Research*, 29: 1195-1204.
- Lappi, J., 1991. Calibration of height and volume equations with random parameters. *Forest Science*, 37(3): 781-801.
- Mehtätalo, L., de-Miguel, S., Gregoire, T.G., 2015. Modeling height-diameter curves for prediction. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(7): 826-837.
- Newton, P.F., Amponsah, I.G., 2007. Comparative evaluation of five height–diameter models developed for black spruce and jack pine stand-types in terms of goodness-of-fit, lack-of-fit and predictive ability. *Forest Ecology and Management*, 247(1-3): 149-166.
- Ogana, F.N., Gorgoso-Varela, J.J., 2020. A nonlinear mixed-effects tree height prediction model: Application to *Pinus pinaster* Ait in Northwest Spain. *Trees, Forests and People*, 1: 100003.
- Özçelik, R., Cao, Q. V., Kurnaz, E., Koparan, B., 2022. Modeling diameter distributions of mixed-oak stands in Northwestern Turkey. *CERNE*, 28: e102991.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M.J., Crecente-Campo, F., Eler, U., 2013. Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest Ecology and Management*, 306: 52-60.
- Özçelik, R., Cao, Q.V., Trincado, G., Göçer, N., 2018. Predicting tree height from tree diameter and dominant height using mixed-effects and quantile regression models for two species in Turkey. *Forest Ecology and Management*, 419: 240-248.
- Özçelik, R., Koparan, B., Fonseca, T.J.F., Baş, B., 2023. Characterization of the variability of the diameter distribution of natural Taurus cedar stands in Türkiye using Johnson's Sb distribution. *Cerne*, 29: e-103265.
- Peng, C., Zhang, L., Liu, J., 2001. Developing and validating nonlinear height–diameter models for major tree species of Ontario's boreal forests. *Northern Journal of Applied Forestry*, 18(3): 87-94.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2): 243-252.
- Raptis, D.I., Kazana, V., Kazaklis, A., Stamatou, C., 2021. Mixed-effects height–diameter models for black pine (*Pinus nigra* Arn.) forest management. *Trees*, 35: 1167-1183.
- Sağlam, F., Sakıcı, O.E., 2024. Ecoregional height–diameter models for Scots pine in Türkiye. *Journal of Forestry Research*, 35(1): 103.
- SAS Institute., 2011. *Sas/ETS 9.1 User's Guide*. SAS Institute, Cary, NC, USA
- Seki, M., Sakıcı, O.E. 2022. Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1): 36-44.
- Seki, M., 2022. Height–diameter allometry of two commercial pine species located in low productive forest stands of northwestern Türkiye. *Austrian Journal of Forest Science*, 139(4): 265–288.
- Sharma, M., Parton, J., 2009. Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest Science*, 55(3): 268-282.
- Temesgen, H., Monleon, V.J., Hann, D.W., 2008. Analysis and comparison of nonlinear tree height prediction strategies for Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(3): 553-565.
- Temesgen, H., v Gadow, K., 2004. Generalized height diameter models an application for major tree species in complex stands of interior British Columbia. *European Journal of Forest Research*, 123: 45-51.

- Temesgen, H., Zhang, C. H., Zhao, X.H., 2014. Modelling tree height–diameter relationships in multi-species and multi-layered forests: A large observational study from Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 316: 78-89.
- Teshome, M., Braz, E.M., Torres, C.M.M.E., Raptis, D.I., de Mattos, P.P., Temesgen, H., Sileshi, G.W., 2024. Mixed-effects height prediction model for *Juniperus procera* trees from a dry afro-montane forest in Ethiopia. *Forests*, 15(3): 443.
- Trincado, G., VanderSchaaf, C.L., Burkhart, H.E., 2007. Regional mixed-effects height–diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. *European Journal of Forest Research*, 126: 253-262.
- VanderSchaaf, C.L., 2012. Mixed-effects height-diameter models for commercially and ecologically important conifers in Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29(1): 15-20.
- VanderSchaaf, C.L., 2013. Mixed-effects height-diameter models for commercially and ecologically important hardwoods in Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 30(1): 37-42.
- VanderSchaaf, C.L., 2014. Mixed-effects height–diameter models for ten conifers in the inland Northwest, USA. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 76(1): 1-9.
- Wang, Z., Wang, H., Wang, S., Lu, S., Saporta, G., 2020. Linear mixed-effects model for longitudinal complex data with diversified characteristics. *Journal of Management Science and Engineering*, 5(2): 105-124.
- Wykoff, W., Crookston, N.L., Stage, A.R., 1982. User's guide to the stand prognosis model (Vol. 133). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, USA.
- Xie, L., Widagdo, F.R.A., Miao, Z., Dong, L., Li, F., 2022. Evaluation of the mixed-effects model and quantile regression approaches for predicting tree height in larch (*Larix olgensis*) plantations in northeastern China. *Canadian Journal of Forest Research*, 52(3): 309-319.

Kastamonu ve Sinop bölgesi karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının ekorejyon bazlı incelenmesi

Mehmet Seki^{a,*}, Oytun Emre Sakıcı^b

Öz: Bu çalışma kapsamında, Kastamonu ve Sinop Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki üç farklı ekorejyonda yayılış yapan doğal ve saf Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerine ilişkin çap dağılımları incelenmiş ve modellenmiştir. Çalışma materyali olarak 274 adet örnek alan verisinden faydalanılmış ve her bir örnek alanın çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla beş farklı olasılık yoğunluk fonksiyonuna (Johnson SB, Gamma-2p, Gamma-3p, Weibull-2p ve Weibull-3p) ilişkin parametre tahminleri yapılmıştır. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının tahmin başarıları Hata İndeksi (e), Ki-kare (X^2), Anderson-Darling (AD) ve Kolmogorov-Smirnov (KS) yardımıyla belirlenmeye çalışılmış ve bu ölçütlerle göre örnek alanlara ilişkin rölâtif başarı sıralamalarının ortalamaları üç farklı ekorejyon için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuç olarak, Johnson SB fonksiyonunun tüm ekorejyonlar için oldukça başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çap sınıfı, Johnson SB, Olasılık yoğunluk fonksiyonu, *Pinus nigra*

Ecoregion based investigation of diameter distributions for Crimean pine stands in Kastamonu and Sinop regions

Abstract: In this study, diameter distributions of pure and natural Crimean Pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands distributed in three different ecoregions within Kastamonu and Sinop Regional Directorates were examined and modeled. Data from 274 sample plots were used as study material. Diameter distributions of Crimean pine stands were modeled and for this purpose, parameter estimates for five different probability density functions (Johnson SB, Gamma-2p, Gamma-3p, Weibull-2p and Weibull-3p) were made for each sample plot. The relative success rankings of the probability density functions for which parameter estimates were made for each sample area were averaged and examined separately for three different ecoregions. Among the probability density functions compared according to the error criteria KS , AD , X^2 and e , the Johnson SB function was found to be quite successful for all ecoregions.

Keywords: Diameter class, Johnson SB, Probability density function, *Pinus nigra*

1. Giriş

Çap sınıfı modelleri, modellenen ünite bakımından tek ağaç ve meşcere modelleri arasında yer almaktadırlar. Bu modellerle genellikle belirli çap kademeleri esas alınarak oluşturulan çap basamaklarındaki ağaç sayıları modellenmekte ve çap basamaklarındaki ağaç sayıları ile ilgili tahminler yapılmaktadır (Vanclay, 1994). Meşcerelere ilişkin ayrıntılı tahminlerin gerektiği durumlarda genel tahmin yeteneğine sahip meşcere modelleri yetersiz kalabilmektedir. Özellikle ormancılık yönetimi ve planlaması bağlamında çap sınıflarına düşen orman hasılatının (hacim ve göğüs yüzeyi gibi) ve dolaylı olarak meşcere içerisindeki ürün çeşitliliğinin bilinmesinin gerektiği durumlarda meşcere modelleri yetersiz kalabilmektedir (Burkhardt ve Tomé, 2012).

Çap sınıfı modelleri, genel olarak meşceredeki ağaçların çap değerlerinin frekans dağılımını veren model yapılarıdır. Bu modeller ile çalışmanın amacına ve veri yapısına bağlı olarak genellikle 1, 2 veya 4 cm genişlikteki çap sınıfları içerisine düşen ağaç sayılarının meşceredeki toplam ağaç

sayısına oranı (frekans oranı) modellenmektedir (Vanclay, 1994; Gadov ve Hui, 1999). Söz konusu modeller yardımıyla meşcerede oluşan ağaçların çap basamaklarına dağılımları çeşitli dağılım fonksiyonları yardımıyla tahmin edilmekte ve böylece meşcere dinamiği hakkında daha ayrıntılı bilgiler elde edilebilmektedir (Loetsch vd., 1973; Gorgoso vd., 2007; Ercanlı vd., 2016; Sahin ve Ercanlı, 2023). Ayrıca, meşceredeki ağaçların hacim, göğüs yüzeyi, karbon stoğu, biyokütle vb. bakımından çap basamaklarına dağılımı hakkında da ayrıntılı bilgiler sağlanabilmektedir (Kangas ve Maltomo, 2000; Poudel ve Cao, 2013; Bolat ve Ercanlı, 2017; Seki, 2022).

Ormancılıkta çap dağılımlarının modellenmesinde olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, herhangi bir çap değerine ilişkin birikimli frekans oranını veren istatistiksel fonksiyonlardır (Rennolls vd., 1985). Ormancılıkta çap dağılımını belirlemek amacıyla Beta, Lognormal, Johnson's SB ve Weibull dağılımları sıklıkla tercih edilmektedir (Carus ve Çatal, 2008).

Çap dağılım modelleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen ulusal çalışmalar incelendiğinde; kızılçam (Carus ve Çatal,

* Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük

^b Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmetseki@karabuk.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 27.09.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 10.10.2024



Citation (Atıf): Seki, M., Sakıcı, O.E., 2024. Kastamonu ve Sinop bölgesi karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının ekorejyon bazlı incelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 408-422.
DOI: [10.18182/tjf.1556922](https://doi.org/10.18182/tjf.1556922)

2008; Doğdaş, 2014; Çatal ve Güneş, 2016; Özçelik vd., 2016; Seki, 2021), karaçam (Carus ve Çatal, 2011; Sakıcı vd., 2016; Şahin, 2023), sarıçam (Sakıcı ve Dal, 2021), Doğu kayını (Carus, 1996), Doğu ladini (Sönmez vd., 2010; Sönmez vd., 2015) ve dişbudak (Yavuz vd., 2002) türlerinin saf meşcereleri ile Doğu ladini-sarıçam (Ercanlı ve Yavuz, 2010; Ercanlı vd., 2013), sarıçam-Doğu kayını (Kahriman ve Yavuz, 2011) ve göknar-sarıçam karışık meşcereleri (Sakıcı ve Gülsunar, 2012) için çap dağılımları modellenmiştir.

Atalay (2014), ekolojik sınıflandırmalarla ormancılık faaliyetlerinin rasyonel ölçülerde planlanabileceğini ve bu sayede yönetim başarısının artırılacağını ifade etmiştir. Bununla birlikte, ekolojik sınıflandırmalar ile meydana getirilen ekorejyonlara ilişkin hasılat çalışmaları da büyük öneme sahiptir (Huang, 1999; Seki ve Sakıcı, 2022a). Herhangi bir ağaç türünün farklı ekolojik bölgelerdeki yayılışlarına ilişkin artım, büyüme ve meşcere dinamiklerine ilişkin tahminlerin bu farklılığı yansıtabilecek özellikte olması gerekmektedir (Özçelik vd., 2014; Seki ve Sakıcı, 2022b) ve ekolojik farklılıkları dikkate alan modeller daha başarılı tahmin yeteneklerine sahiptirler (Xu, 2004). Örneğin, *Lithocarpus densiflorus* için düzenlenen bir hacim tablosunun coğrafik sınırları dikkate almaksızın farklı bir bölgede kullanılması sonucunda %40'lara varan tahmin hatalarının ortaya çıkabileceği ifade edilmektedir (Pillsbury vd., 1995). Huang vd. (2000) ise çap-boy modellerinin geliştirildiği ekolojik bölge dışında farklı bölgelerde kullanılmasının %21'lere varan düşük tahmin (underestimation) ve %29'lara varan fazla tahminlere (overestimation) sebep olabileceğini belirtmiştir.

Karaçam yaklaşık 4.1 milyon ha yayılış alanı ile ülkemizin önemli asli orman ağacı türlerimizden birisi olmasının yanında Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri içerisinde de en geniş yayılış alanına sahip ağaç türüdür (OGM, 2022). Gerek ülkemiz genelinde ve gerekse Kastamonu ve Sinop yörelerinde oldukça geniş yayılışa sahip karaçam farklı ekolojik koşullar altında yetişmektedir. Bu sebeplerle, karaçam meşcerelerine ilişkin geliştirilecek olan çap dağılım modellerinin bu ekolojik farklılıkları yansıtabilecek özellikte olması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, karaçam türünün Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yayılış yapan doğal, saf ve eşit yaşlı meşcerelerine ilişkin çap dağılımları farklı ekorejyonlar için ayrı ayrı incelenmiş ve modellenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan veriler, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki saf ve eşityaşlı karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerinden alınan örnek alanlardan elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ekolojik farklılıkların ortaya konulabilmesi için ekorejyonlar dikkate alınmış ve karaçam meşcerelerinin çap dağılımları farklı ekorejyonlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Bu amaçla, Atalay (2014) tarafından geliştirilen ekolojik sınıflandırma ve ekorejyonlar dikkate alınmıştır. Kastamonu ve Sinop Bölgeleri Atalay (2014)'e göre tümüyle "Karadeniz İklim Bölgesi" sınırları içerisindeki Karadeniz İklim Bölgesi beş farklı alt ekolojik bölüm (ekorejyon) içermektedir (Şekil 1):

- Nemli-Ilıman Geniş Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 1),
- Karadeniz Kıyı Dağları Nemli-Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü (Ekorejyon 2),
- Karadeniz Ardı Plato ve Dağlar Soğuk Yarı nemli Orman Bölümü (Ekorejyon 3),
- Karadeniz Ardı Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü (Ekorejyon 4),
- Karadeniz Dağ Çayırıları Bölümü (Ekorejyon 5).

Çalışmada ekolojik farklılıkların temel göstergesi olarak ekorejyonlar dikkate alındığından çap dağılım modelleri de ekorejyonlar ölçeğinde geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında hangi ekorejyonların çalışmaya dâhil edileceğinin belirlenebilmesi amacıyla her iki bölge müdürlüğü içerisinde yayılış yapan saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinin ekorejyonlar içerisindeki dağılımları ayrıntılı olarak incelenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 incelendiğinde, çalışma alanı içerisindeki karaçam meşcerelerinin alsal olarak sırasıyla Ekorejyon 3 (%88.0), Ekorejyon 1 (%5.3) ve Ekorejyon 4'te (%5.0) önemli oranda yayılış yaptığı görülmektedir. Ekorejyon 2 (%1.4) ve Ekorejyon 5'te (%0.3) yayılış gösteren karaçam meşcereleri ise oldukça azdır. Bu nedenle, çalışmanın Ekorejyon 1, Ekorejyon 3 ve Ekorejyon 4 içerisinde yer alan karaçam meşcereleri kapsamında yürütülmesine ve Ekorejyon 2 ve Ekorejyon 5'in ise çalışmaya dâhil edilmemesine karar verilmiştir.

Çalışma verilerinin elde edilebilmesi amacıyla, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri'nde yayılış gösteren saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinden 274 adet örnek alan alınmıştır. Örnek alanların farklı verim gücü, yaş ve sıklıktaki meşcerelere dağılımının sağlanmasına çalışılmış ve aynı zamanda, örnek alanlar çalışmaya konu ekorejyonlara (Ekorejyon 1, 3 ve 4) ve Orman İşletme Müdürlüklerine (OİM) ağırlıklı olarak dağıtılmasına özen gösterilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında alınan 274 örnek alanın 63'ü Ekorejyon 1'de, 151'i Ekorejyon 3'te ve 60'ı Ekorejyon 4'te yer almaktadır. Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlüklerine bağlı Araç OİM'den 26, Azdavay OİM'den 4, Boyabat OİM'den 20, Daday OİM'den 7, Gerze OİM'den 11, Hanönü OİM'den 16, İhsangazi OİM'den 18, İnebolu OİM'den 13, Karadere OİM'den 33, Kastamonu OİM'den 16, Küre OİM'den 12, Pınarbaşı OİM'den 15, Samatlar OİM'den 4, Sinop OİM'den 8, Taşköprü OİM'den 52 ve Tosya OİM'den 19 adet olmak üzere 274 örnek alanın OİM'lere dağılımı sağlanmıştır (Şekil 2).

Çizelge 1. Saf ve eşityaşlı karaçam meşcerelerinin ekorejyonlara dağılımı

Table 1. Distribution of pure and even-aged Crimean pine stands in ecoregions

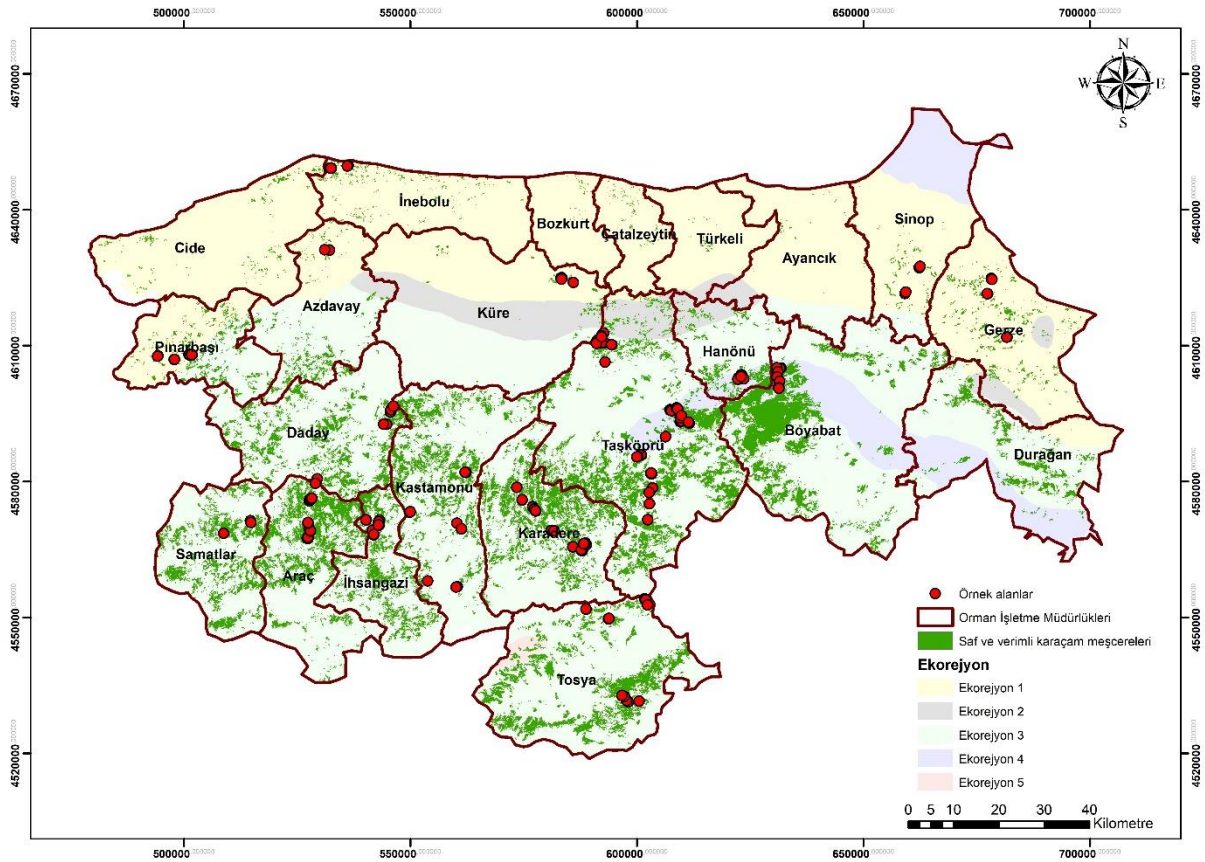
Ekorejyon	Alan (ha)	Oran (%)
Ekorejyon 1	12179	5.3
Ekorejyon 2	3190	1.4
Ekorejyon 3	200620	88.0
Ekorejyon 4	11297	5.0
Ekorejyon 5	675	0.3
Toplam	227961	100



I. Karadeniz İklim Bölgesi/Black Sea Climatic Region

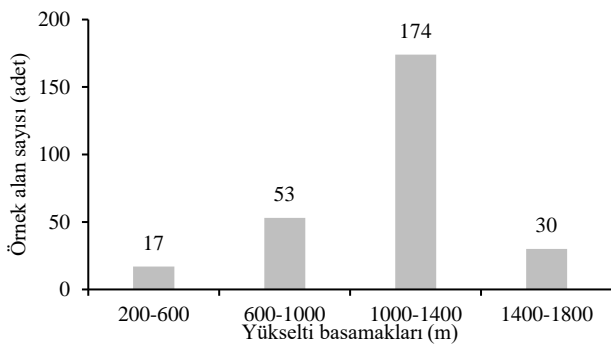
- Nemli-Ilıman Geniş Yapraklı Orman Bölümü
Humid-Mild Broad-Leaved Forest Subregion
- Karadeniz Kıyı Dağları Nemli Soğuk İğne Yapraklı Orman Bölümü
Black Sea Coastal Mountains Humid Cold Coniferous Forest Subregion
- Karadeniz Ardi Plato Ve Dağlar Soğuk Yarınemli İğne Yapraklı Orman Bölümü
Subhumid-Cold Coniferous-Forest Subregion of Backward Black Sea Plateau And Mountains
- Karadeniz Ardi Kurakçıl Orman-Çalı Bölümü
Dry Forest-Shrub Subregion Of Backward Black Sea Region
- Dağ Çayırı Bölümü
Mountain Grass Subregion

Şekil 1. Karadeniz İklim Bölgesi (Atalay, 2014)
Figure 1. Black Sea Climate Region

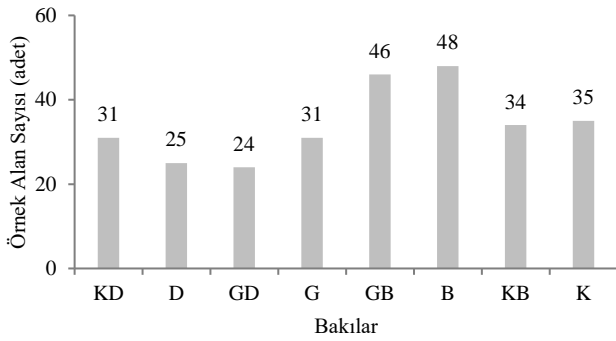


Şekil 2. Örnek alanların çalışma alanına dağılımı
Figure 2. Distribution of sample plots in the study area

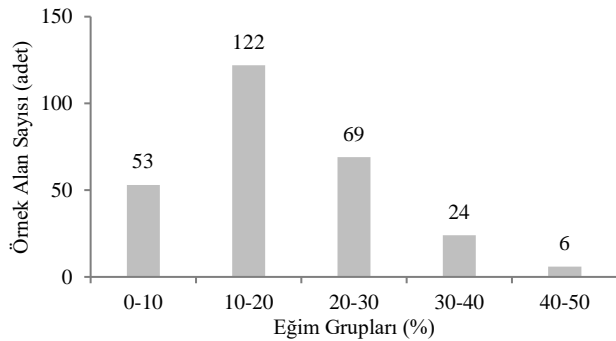
Örnek alanların denizden yükseklikleri incelendiğinde (Şekil 3); 274 örnek alandan 17'si (%6.2) 200-600 m, 53'ü (%19.3) 600-1000 m, 174'ü (%63.5) 1000-1400 m ve 30'u (%11.0) 1400-1800 m yükseklik sınıfında yer almaktadır. Bakı gruplarına göre örnek alanların dağılımları incelendiğinde (Şekil 4); 35'i (%12.8) Kuzey, 31'i (%11.3) Kuzeydoğu, 34'ü (%12.4) Kuzeybatı ve 25'i (%9.1) Doğu olmak üzere 125'i (%45.6) gölgeli bakılardan ve 31'i (%11.3) Güney, 24'ü (%8.8) Güneydoğu, 46'sı (%16.8) Güneybatı ve 48'i (%17.5) Batı olmak üzere 149'u da (%54.4) güneşli bakılardan alınmıştır. Örnek alan eğimleri incelendiğinde (Şekil 5) ise; 53 örnek alan (%19.3) %0-10 eğim grubunda, 122 örnek alan (%44.5) %10-20 eğim grubunda, 69 örnek alan (%25.2) %20-30 eğim grubunda, 24 örnek alan (%8.8) %30-40 eğim grubunda ve 6 örnek alan da (%2.2) %40-50 eğim grubunda yer almıştır.



Şekil 3. Örnek alanların yükselti basamaklarına dağılımı
Figure 3. Distribution of sample plots in altitude classes



Şekil 4. Örnek alanların bakı gruplarına dağılımı
Figure 4. Distribution of sample plots in aspect groups



Şekil 5. Örnek alanların eğim gruplarına dağılımı
Figure 5. Distribution of sample plots in slope groups

Dairesel olarak alınan örnek alanların büyüklükleri meşcere kapalılığına bağlı olarak 400 (3 kapalı meşcereler için), 600 (2 kapalı meşcereler için) ve 800 m² (1 kapalı meşcereler için) olarak belirlenmiştir. Ancak, sıklığı oldukça yüksek genç meşcerelerde örnek alan büyüklükleri 200 m² ve içerisine düşen ağaç sayısının yetersiz olduğu sıklığı oldukça düşük meşcerelerde örnek alan büyüklükleri 1000-1200 m² olarak değiştirilmiştir. Örnek alan büyüklükleri belirlenirken içerilerinde en az 30 ağaç bulunmasına dikkat edilmiştir. Örnek alanlarda çap dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla her bir örnek alanda göğüs çapları ($d_{1.30}$) 8 cm ve daha büyük olan ağaçlar numaralandırılarak bu ağaçların göğüs çapları çap ölçer yardımıyla 0,1 cm hassasiyetle ölçülmüştür.

2.2. Yöntem

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin parametre tahminleri "Parametre Tahmin (Parameter Prediction)" ve "Parametre Çözümleme (Parameter Recovery)" olmak üzere iki farklı yöntemle yapılabilmektedir. (Gadow ve Hui, 1999) Olasılık yoğunluk fonksiyonlarını esas alan bir çap dağılım modelinin başarısı da modele ilişkin parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır (Poudel ve Cao, 2013). Parametre tahmin yöntemleri; i) Maksimum olabilirlik yöntemi, ii) Doğrusal regresyon yöntemi ve iii) Doğrusal olmayan regresyon yöntemi olmak üzere üç grupta, parametre çözümleme yöntemleri ise i) Momentler yöntemi ve ii) Yüzdeler yöntemi olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (Burkhardt ve Tomé, 2012; Poudel ve Cao, 2013).

Bu çalışmada, Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri saf karaçam meşcereleri için çap dağılımlarının modellenmesinde kullanılacak en uygun dağılım fonksiyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ormancılık literatüründe sıklıkla tercih edilen Johnson SB, Weibull ve Gamma dağılımlarına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılmış olup, Weibull ve Gamma dağılımlarının parametre sayılarına bağlı olarak ikişer farklı formu ile alınarak iki ve üç parametrelilik Gamma (Gamma-2p ve Gamma-3p), iki ve üç parametrelilik Weibull (Weibull-2p ve Weibull-3p) ve Johnson SB olmak üzere 5 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonuna ilişkin parametre tahminleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2). Modellerle ilişkin parametre tahminleri için Easyfit 5.5 Professional yazılımı kullanılmıştır (Mathwave, 2015). Bu yazılım, parametre tahminlerinde "Maksimum Olabilirlik Yöntemi"nden yararlanmaktadır.

Her bir örnek alan için ayrı ayrı parametre tahminleri yapılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının ilgili örnek alan için uygunluk ve başarılarının belirlenmesinde Hata İndeksi (e), Ki-kare (X^2), Anderson-Darling (AD) ve Kolmogorov-Smirnov (KS) olmak üzere dört farklı istatistik ölçütten faydalanılmıştır. Söz konusu ölçütlerden KS , AD ve X^2 istatistikleri parametre tahminleri için kullanılan Easyfit 5.5 Professional yazılımında doğrudan hesaplanırken, e ölçütü Eşitlik 1 (Reynolds vd., 1988) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$e = \sum_{j=1}^k |n_t - n| \quad (1)$$

Bu eşitlikte;
k: İlgili örnek alandaki çap basamağı sayısını,
n: İlgili örnek alanda *j*'inci çap basamağında ölçülen ağaç sayısını (adet),
n_t: İlgili örnek alanda *j*'inci çap basamağı için ilgili olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen ağaç sayısını (adet) ifade etmektedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının parametre tahminleri her bir örnek alan için yapılmış ve ardından istatistiksel ölçütlerle Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre olasılık yoğunluk fonksiyonları her bir istatistiksel ölçüte göre en başarılı modelin rölatif sırası 1 ve en başarısız modelin rölatif sırası *m* olacak şekilde en başarılıdan en başarısız doğru 1 ile *m* (fonksiyon sayısı) arasında sıralanmakta ve diğer modeller de 1 ile *m* arasında değişen rölatif değerler olarak sıralamaya dâhil olmaktadır. Rölatif sıralamaya ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(e_i - e_{min})}{(e_{maks} - e_{min})} \quad (2)$$

Bu eşitlikte;
R_i: *i*. fonksiyona ilişkin rölatif sıra,
e_i: *i*. fonksiyona ilişkin hata indeks değeri,
e_{min}: fonksiyonlar arasındaki en düşük *e_i* değeri,
e_{maks}: fonksiyonlar arasındaki en yüksek *e_i* değeri,
m: karşılaştırılan model sayısını ifade etmektedir.

3. Bulgular ve tartışma

Bu çalışma kapsamında üç farklı ekorejyondaki (Ekorejyon 1, 3 ve 4) farklı verim gücü sıklık ve yaşlardaki karaçam meşcerelerinden alınan 274 adet örnek alana ilişkin çap dağılımları Johnson SB, Gamma-2p, Weibull-2p, Gamma-3p ve Weibull-3p olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen modellerin Hata indeksi (*e*), Ki-kare (*X*²), Anderson-Darling (*AS*) ve Kolmogorov-Smirnov (*KS*) istatistiklerine ilişkin rölatif başarı sıralamaları ayrı ayrı her bir örnek alan için hesaplanmıştır. Her örnek alana ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rölatif başarı sıralamaları üç ekorejyon için sırasıyla Çizelge 3, Çizelge 4-5'te verilmiştir. Çizelgelerde, parametreleri tahmin edilemeyen (çözümlemeyen) olasılık yoğunluk fonksiyonları için "ns", parametreleri tahmin edilmiş ama test istatistiği hesaplanamamış fonksiyonlar için "---" ifadeleri kullanılmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonları

Table 2. Probability density functions used in the study

Dağılım	Olasılık yoğunluk fonksiyonu	Açıklama
Gamma-2p (Nelson, 1964)	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}$	<i>a, β</i> : Parametreler <i>Γ(a)</i> : Gamma fonksiyonu <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0
Gamma-3p (Lawless, 1982)	$f(x) = \frac{(x-\gamma)^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{(x-\gamma)}{\beta}}$	<i>a, β, γ</i> : Parametreler <i>Γ(a)</i> : Gamma fonksiyonu <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0, <i>γ</i> ≤ <i>x</i> ≤ +∞
Johnson SB (Johnson, 1949)	$f(x) = \frac{\delta}{\lambda \sqrt{2\pi} z(1-z)} e^{\left(-\frac{1}{2}(\gamma + \delta \ln(\frac{z}{1-z}))^2\right)}$	<i>δ, λ, γ, ζ</i> : Parametreler $z = \frac{x-\xi}{\lambda}$ <i>ξ</i> ≤ <i>x</i> ≤ <i>ξ</i> + <i>λ</i> , <i>δ</i> > 0, <i>γ</i> > 0
Weibull-2p (Schreuder ve Swank, 1974)	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	<i>a, β</i> : Parametreler <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0
Weibull-3p (Bailey ve Dell, 1973)	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha}$	<i>a, β, γ</i> : Parametreler <i>a</i> > 0, <i>β</i> > 0, <i>γ</i> ≤ <i>x</i> ≤ +∞

Çizelge 3. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı sıraları (Ekorejyon 1)
 Table 3. Ranks of probability density functions (Ecoregion 1)

Örnek alan	Kolmogorov-Smirnov (KS)					Anderson-Darling (AD)					Ki-kare (χ^2)					Hata İndeksi (e)				
	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB
27	1.29	3.72	5.00	3.71	1.00	1.62	3.23	5.00	2.49	1.00	1.00	2.08	5.00	2.10	4.83	3.61	3.09	5.00	3.26	1.00
28	3.08	2.07	5.00	2.87	1.00	1.17	1.00	1.84	1.23	5.00	2.00	1.00	4.00	2.41	---	1.24	1.00	5.00	2.14	3.29
29	4.22	3.39	5.00	4.36	1.00	2.49	3.44	5.00	3.47	1.00	1.00	2.31	2.04	5.00	3.41	1.00	2.49	5.00	3.42	3.79
30	3.49	4.33	5.00	4.10	1.00	1.94	4.71	5.00	3.36	1.00	1.00	3.67	5.00	2.83	1.44	5.00	1.00	4.11	3.67	2.33
58	5.00	2.46	1.68	1.00	2.21	5.00	1.94	1.39	1.00	1.47	5.00	4.03	1.00	3.64	3.02	5.00	3.21	1.00	1.43	2.57
59	1.66	1.00	5.00	2.14	2.58	1.64	1.38	5.00	2.34	1.00	1.28	1.00	5.00	2.56	1.46	1.64	1.96	5.00	3.24	1.00
60	2.39	1.48	5.00	3.85	1.00	1.50	1.00	5.00	2.57	1.34	5.00	1.87	3.62	2.63	1.00	1.35	1.00	5.00	3.05	1.10
61	3.71	1.00	5.00	4.06	1.82	2.22	1.00	5.00	2.64	1.77	3.68	3.92	1.00	5.00	4.74	2.77	1.00	5.00	3.43	3.73
62	4.33	1.00	5.00	4.04	1.09	4.96	1.00	5.00	3.80	1.24	5.00	1.29	1.31	1.00	1.97	4.66	1.93	5.00	4.07	1.00
63	5.00	1.98	1.35	1.00	1.74	5.00	1.35	1.22	1.00	1.33	2.32	1.01	5.00	4.85	1.00	5.00	1.00	1.35	1.09	1.02
64	5.00	2.22	2.02	1.39	1.00	5.00	1.38	1.83	1.24	1.00	2.43	4.60	1.00	2.32	5.00	1.00	4.90	5.00	4.72	4.70
65	5.00	2.49	1.89	2.09	1.00	5.00	2.29	3.95	2.31	1.00	1.00	1.40	5.00	1.05	2.59	1.00	2.59	5.00	2.62	2.89
66	5.00	4.18	4.80	4.62	1.00	3.01	2.33	5.00	2.52	1.00	2.64	1.00	2.83	5.00	3.11	4.53	2.53	5.00	3.12	1.00
67	1.18	1.00	5.00	3.54	1.69	1.00	1.17	5.00	2.31	1.04	1.07	5.00	1.09	4.06	1.00	1.40	1.80	5.00	2.73	1.00
68	5.00	3.59	1.71	1.00	2.59	5.00	2.80	1.45	1.00	1.94	5.00	2.08	1.00	1.13	2.17	5.00	3.09	1.61	1.00	2.30
103	5.00	1.86	3.14	1.69	1.00	5.00	1.21	1.97	1.00	1.57	5.00	1.00	1.25	2.87	1.39	3.28	2.11	1.00	3.27	5.00
104	5.00	1.00	2.04	1.61	1.08	5.00	1.17	1.42	1.00	1.15	3.96	5.00	1.00	3.38	4.95	5.00	1.62	2.64	1.82	1.00
105	4.34	1.00	5.00	3.90	4.05	1.77	1.00	2.11	1.87	5.00	4.00	1.60	1.00	2.61	---	1.00	5.00	1.12	1.10	2.11
106	4.79	5.00	4.41	4.36	1.00	3.97	5.00	3.43	4.33	1.00	4.11	3.39	1.00	5.00	1.74	4.54	4.60	3.69	5.00	1.00
107	4.00	2.82	1.19	1.00	ns	4.00	2.03	1.06	1.00	ns	4.00	1.16	1.01	1.00	ns	1.00	4.00	2.20	2.09	ns
108	5.00	2.15	3.24	1.92	1.00	2.57	1.12	1.40	1.00	5.00	2.50	2.20	4.00	1.00	---	5.00	1.40	2.75	1.00	3.76
109	5.00	1.36	2.41	1.00	1.19	5.00	1.32	1.27	1.00	1.10	5.00	1.00	1.13	1.47	1.76	3.12	5.00	1.00	2.72	3.17
110	1.44	1.00	4.60	5.00	1.61	1.00	1.09	5.00	3.22	1.16	5.00	3.72	1.03	1.00	4.97	1.30	1.00	5.00	3.65	1.91
111	5.00	3.47	4.04	1.98	1.00	5.00	1.49	1.66	1.00	1.44	1.00	4.84	3.05	5.00	4.93	4.86	5.00	2.61	1.00	2.19
112	1.00	2.69	4.00	3.08	ns	4.00	1.97	2.20	1.00	ns	1.73	4.00	1.86	1.00	ns	1.00	3.17	4.00	3.04	ns
113	2.46	1.44	5.00	1.80	1.00	1.34	1.12	5.00	2.46	1.00	1.00	2.98	5.00	1.64	2.97	1.00	1.57	5.00	3.93	1.64
114	4.00	2.71	1.44	1.00	ns	4.00	3.01	1.24	1.00	ns	1.00	4.00	3.57	2.71	ns	1.00	4.00	2.89	2.46	ns
115	5.00	1.14	1.77	1.55	1.00	5.00	3.99	3.91	3.62	1.00	2.50	3.35	1.01	1.00	5.00	5.00	1.00	2.91	2.67	2.37
165	3.51	3.09	2.22	5.00	1.00	1.47	1.55	1.24	5.00	1.00	1.00	4.00	1.95	---	1.52	2.41	3.96	1.00	5.00	2.26
166	1.50	1.67	5.00	3.95	1.00	2.39	1.49	5.00	2.95	1.00	5.00	1.76	1.93	1.00	2.47	4.21	2.63	2.14	1.00	5.00
167	5.00	2.92	3.28	2.30	1.00	5.00	2.47	3.96	2.92	1.00	5.00	1.89	2.04	2.16	1.00	5.00	3.17	2.29	3.08	1.00
168	2.00	1.23	5.00	3.95	1.00	1.24	1.05	5.00	2.59	1.00	3.05	1.01	2.44	5.00	1.00	5.00	4.70	1.40	1.00	4.80
169	4.29	3.81	5.00	2.95	1.00	3.06	2.85	5.00	3.10	1.00	5.00	1.79	1.45	1.00	3.58	5.00	4.65	4.81	4.42	1.00
170	3.69	3.54	1.00	5.00	4.33	5.00	1.04	1.20	1.14	1.00	1.38	5.00	1.00	3.95	1.42	4.02	5.00	1.01	1.00	1.03
171	5.00	2.12	1.00	1.45	1.96	5.00	1.73	1.99	1.00	1.43	4.55	4.98	1.00	1.14	5.00	5.00	1.80	4.60	3.80	1.00
172	5.00	1.00	2.28	1.11	1.79	1.73	1.01	1.10	1.00	5.00	4.00	1.00	2.40	1.41	---	5.00	1.35	1.00	2.27	4.99
173	5.00	2.72	4.19	3.23	1.00	5.00	1.94	2.46	2.18	1.00	2.41	2.17	5.00	1.00	4.19	2.74	4.79	1.00	5.00	3.29
174	4.00	3.75	1.00	5.00	1.96	5.00	1.54	1.08	1.90	1.00	1.00	5.00	3.21	1.17	3.69	1.00	4.73	1.51	5.00	2.72
175	2.55	2.11	5.00	4.25	1.00	1.88	1.16	5.00	3.59	1.00	4.38	1.00	4.85	5.00	2.89	1.00	4.64	5.00	3.67	2.09
176	1.00	2.86	5.00	3.46	2.07	1.90	2.09	5.00	1.48	1.00	4.55	1.00	5.00	3.58	4.66	1.00	3.55	5.00	2.45	1.73
177	1.00	1.86	4.00	2.94	ns	1.19	1.00	4.00	1.68	ns	1.01	3.28	4.00	1.00	ns	1.00	2.30	4.00	2.58	ns
178	4.00	3.82	1.92	1.00	ns	4.00	2.17	1.35	1.00	ns	3.89	1.00	4.00	3.29	ns	3.57	4.00	1.00	1.57	ns
179	5.00	1.21	1.92	1.07	1.00	5.00	1.01	1.33	1.00	1.28	5.00	2.47	1.63	3.36	1.00	5.00	1.47	2.45	1.00	2.10
180	3.43	1.00	5.00	2.52	1.72	2.12	1.00	5.00	2.02	1.15	5.00	1.05	3.69	2.54	1.00	1.01	5.00	1.60	1.70	1.70
181	2.25	1.00	5.00	2.93	1.30	1.39	1.23	5.00	2.62	1.00	5.00	4.66	1.17	1.00	4.82	1.00	2.11	5.00	4.05	1.71
182	3.30	1.00	5.00	3.80	1.59	2.54	1.05	5.00	2.66	1.00	5.00	1.00	3.89	3.75	1.84	1.38	5.00	1.43	1.00	1.10
183	1.04	1.00	1.04	4.00	ns	1.46	1.01	4.00	1.54	ns	1.82	1.00	4.00	1.16	ns	1.50	1.00	4.00	3.67	ns
184	2.90	1.35	5.00	2.91	1.00	2.16	1.09	5.00	2.05	1.00	5.00	3.32	1.34	2.74	1.00	1.67	1.00	5.00	2.20	1.40
185	2.48	1.00	5.00	4.76	2.24	1.22	1.24	5.00	3.32	1.00	5.00	1.00	4.63	2.30	3.14	1.00	1.40	5.00	3.25	1.13
186	5.00	1.00	4.55	3.58	2.49	4.11	1.00	5.00	3.89	1.43	1.92	1.00	5.00	2.44	1.34	1.44	5.00	1.53	1.48	1.00
187	4.43	2.86	1.00	1.97	5.00	5.00	1.39	1.06	1.00	1.75	2.17	1.00	1.60	2.28	5.00	2.92	3.08	1.00	1.79	5.00
188	3.29	1.82	5.00	3.92	1.00	2.71	1.30	5.00	3.01	1.00	3.30	4.15	5.00	2.54	1.00	1.22	5.00	1.32	1.15	1.00
189	2.98	2.99	5.00	3.36	1.00	1.90	2.91	5.00	2.95	1.00	5.00	2.99	3.15	3.04	1.00	1.82	5.00	2.64	2.44	2.44
190	4.60	3.92	5.00	4.41	1.00	5.00	2.48	3.46	3.03	1.00	5.00	2.25	1.00	1.60	3.60	2.20	1.00	2.60	2.80	5.00
191	3.23	3.06	5.00	4.67	1.00	1.07	1.00	1.77	1.43	5.00	1.05	1.00	4.00	3.09	---	1.66	5.00	2.25	1.98	1.00
196	2.70	3.88	5.00	4.18	1.00	2.62	3.67	5.00	3.68	1.00	1.00	4.06	1.24	5.00	3.82	4.53	3.81	5.00	4.84	1.00
197	3.89	4.45	5.00	4.41	1.00	3.16	3.93	5.00	3.75	1.00	3.06	4.17	5.00	4.90	1.00	4.29	4.16	5.00	4.42	1.00
198	2.25	4.07	5.00	3.52	1.00	1.33	2.90	5.00	3.04	1.00	2.00	1.00	2.72	1.34	5.00	1.00	3.08	5.00	3.72	1.96
199	2.48	1.43	4.00	1.00	ns	1.58	1.00	4.00	2.50	ns	1.00	1.93	3.97	4.00	ns	1.00	1.08	4.00	2.18	ns
200	2.76	2.26	5.00	4.30	1.00	1.10	1.00	1.60	1.27	5.00	3.64	1.00	4.00	3.80	---	2.06	1.00	5.00	3.31	1.94
201	2.46	2.87	1.37	5.00	1.00	1.40	5.00	1.07	3.25	1.00	2.64	---	1.44	4.00	1.00	1.65	4.35	1.00	5.00	1.26
202	3.07	1.00	5.00	3.79	1.46	2.98	1.00	5.00	2.55	1.25	2.82	1.95	5.00	1.00	2.33	2.50	1.00	5.00	3.09	1.05
203	2.96																			

Çizelge 4. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı sıraları (Ekorejyon 3)
 Table 4. Ranks of probability density functions (Ecoregion 3)

Örnek alan	<i>Kolmogorov-Smirnov (KS)</i>					<i>Anderson-Darling (AD)</i>					<i>Ki-kare (X²)</i>					<i>Hata İndeksi (e)</i>				
	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB
1	2.47	3.08	5.00	4.19	1.00	5.00	2.47	4.78	3.56	1.00	1.56	3.83	2.73	5.00	1.00	5.00	2.32	1.00	1.85	1.92
2	5.00	1.75	3.20	1.64	1.00	1.75	1.02	1.21	1.00	5.00	4.00	1.00	3.22	1.34	--	4.80	1.04	1.95	1.00	5.00
3	5.00	1.30	1.32	1.00	1.78	5.00	1.31	1.01	1.00	1.39	4.28	2.35	1.00	5.00	1.66	2.03	3.75	1.00	1.95	5.00
4	5.00	1.85	3.38	2.21	1.00	5.00	1.16	2.10	1.23	1.00	5.00	1.96	1.81	1.79	1.00	2.82	5.00	1.93	1.21	1.00
5	2.18	1.06	5.00	1.65	1.00	4.94	2.02	5.00	1.00	1.14	1.00	4.61	5.00	4.78	4.42	4.92	4.04	5.00	1.00	2.77
6	5.00	2.14	1.00	1.64	1.73	5.00	1.35	1.17	1.00	1.14	4.72	5.00	1.00	4.27	3.44	4.66	5.00	1.00	2.49	3.63
7	2.23	4.80	5.00	4.30	1.00	4.76	4.53	5.00	4.07	1.00	2.53	3.53	2.36	1.00	5.00	1.00	4.76	5.00	4.53	2.41
8	5.00	3.99	3.38	4.91	1.00	1.01	1.24	1.20	5.00	1.00	3.65	1.00	1.78	--	4.00	5.00	4.28	2.08	1.00	2.94
9	5.00	1.00	2.43	1.40	1.36	5.00	1.02	1.74	1.06	1.00	5.00	1.01	1.00	1.27	1.31	5.00	4.38	3.18	1.00	1.09
10	5.00	1.39	2.81	1.86	1.00	5.00	1.55	2.11	1.82	1.00	5.00	2.38	4.87	1.00	2.39	5.00	3.86	1.00	4.29	2.65
11	5.00	2.55	1.00	2.33	2.61	5.00	1.85	1.55	1.00	1.81	5.00	2.08	1.01	1.00	2.08	5.00	2.79	1.68	1.00	2.70
12	5.00	1.67	3.71	2.21	1.00	1.64	1.00	1.14	1.03	5.00	4.00	1.10	1.61	1.00	--	2.76	4.16	1.00	4.16	5.00
13	5.00	2.40	2.49	4.65	1.00	2.20	1.44	1.31	5.00	1.00	4.28	1.00	5.00	3.40	3.33	3.42	4.06	1.00	5.00	2.75
14	5.00	1.01	2.61	1.50	1.00	5.00	1.07	1.74	1.15	1.00	5.00	1.36	2.40	1.20	1.00	5.00	1.48	2.01	1.43	1.00
15	2.68	1.48	5.00	4.64	1.00	1.86	1.51	5.00	4.12	1.00	1.41	3.00	5.00	3.24	1.00	1.10	5.00	1.69	1.48	1.00
16	5.00	4.80	1.80	1.02	1.00	4.10	4.12	5.00	4.09	1.00	5.00	4.66	4.22	4.19	1.00	2.86	1.00	5.00	2.87	3.67
17	3.13	3.91	3.94	5.00	1.00	1.00	1.48	1.67	3.44	5.00	1.00	1.06	4.00	1.69	--	3.98	2.14	5.00	2.89	1.00
18	3.36	1.00	5.00	3.96	1.06	1.44	1.00	2.45	1.50	5.00	2.66	1.00	4.00	3.42	--	2.09	5.00	2.95	2.21	1.00
19	1.00	2.24	5.00	3.63	1.16	1.50	1.20	5.00	2.95	1.00	2.90	1.00	5.00	3.79	1.79	1.12	1.00	4.94	2.85	5.00
20	5.00	1.42	1.51	1.00	2.21	5.00	1.38	1.00	1.05	1.36	1.00	2.53	3.11	1.20	5.00	5.00	1.00	1.40	1.13	1.80
21	5.00	1.23	1.63	2.02	1.00	5.00	1.04	1.37	1.23	1.00	1.00	3.89	3.45	2.04	5.00	5.00	2.19	1.59	4.70	1.00
22	2.17	1.00	5.00	1.35	1.42	1.08	1.26	5.00	1.00	1.09	2.76	4.89	1.00	5.00	3.46	1.00	1.55	5.00	1.30	1.52
23	3.05	1.00	4.00	3.25	ns	2.22	1.00	4.00	2.65	ns	1.00	3.04	4.00	3.65	ns	2.82	1.00	4.00	3.16	ns
24	1.77	1.00	4.00	2.36	ns	4.00	1.43	3.98	1.00	ns	4.00	2.88	1.00	1.94	ns	4.00	1.62	1.21	1.00	ns
25	4.37	3.49	4.50	5.00	1.00	4.41	4.73	4.71	5.00	1.00	5.00	3.76	4.00	2.79	1.00	1.67	5.00	1.00	4.87	3.48
26	3.68	2.94	5.00	3.74	1.00	2.43	1.71	5.00	2.55	1.00	2.99	1.82	5.00	1.63	1.00	3.11	1.36	5.00	3.17	1.00
51	3.19	4.46	1.93	5.00	1.00	5.00	4.00	3.35	4.56	1.00	1.68	2.09	1.16	5.00	1.00	2.14	5.00	1.88	4.86	1.00
52	1.21	1.00	5.00	4.37	1.11	1.04	1.00	5.00	3.47	1.08	1.51	1.49	1.78	5.00	1.00	1.07	1.00	5.00	4.04	1.39
53	2.60	1.72	5.00	4.40	1.00	1.93	1.60	5.00	3.65	1.00	2.55	1.45	2.53	5.00	1.00	1.77	1.00	5.00	3.88	1.52
54	5.00	2.56	2.27	1.00	4.30	5.00	1.71	2.61	1.27	1.00	5.00	4.31	1.00	3.20	4.55	5.00	2.95	1.00	1.33	3.80
55	1.00	1.35	5.00	2.82	1.07	1.00	1.17	5.00	2.42	1.09	2.89	5.00	1.00	2.30	2.18	1.48	1.80	5.00	2.84	1.00
56	2.34	1.54	5.00	3.38	1.00	1.95	1.87	5.00	2.70	1.00	2.67	2.57	5.00	1.92	1.00	2.98	2.30	5.00	3.75	1.00
57	1.00	3.44	5.00	3.01	1.34	1.51	2.44	5.00	2.20	1.00	2.62	1.93	5.00	1.00	3.24	1.00	2.75	5.00	2.53	1.15
85	3.15	3.11	5.00	4.62	1.00	1.09	1.00	2.06	1.76	5.00	1.00	1.63	4.00	1.83	--	1.32	5.00	2.17	1.98	1.00
86	5.00	1.00	1.69	1.70	1.79	5.00	1.00	1.24	1.18	1.05	1.25	5.00	1.00	3.40	3.77	5.00	2.50	2.02	1.11	1.00
87	3.07	1.00	5.00	4.51	1.32	1.22	1.00	1.75	1.50	5.00	2.83	1.00	3.58	4.00	--	1.00	5.00	1.67	1.39	1.36
88	1.62	1.00	4.89	5.00	1.44	1.15	1.52	5.00	4.15	1.00	4.41	4.36	5.00	1.00	3.54	1.00	1.44	2.10	1.73	5.00
89	4.00	2.44	1.00	1.11	ns	4.00	3.00	3.64	1.00	ns	4.00	3.59	1.00	2.50	ns	3.14	4.00	3.14	1.00	ns
90	4.00	1.00	1.40	1.67	ns	4.00	1.76	1.08	1.00	ns	4.00	1.54	1.00	1.21	ns	1.00	4.00	3.06	3.33	ns
91	1.00	2.84	4.82	5.00	2.00	1.10	1.75	5.00	4.13	1.00	5.00	1.00	1.78	1.73	2.20	2.87	5.00	4.73	4.20	1.00
92	5.00	1.15	1.73	1.00	1.61	5.00	1.26	1.71	1.00	1.07	1.00	5.00	2.83	3.70	4.35	1.85	1.14	1.17	1.00	5.00
93	2.87	1.30	5.00	2.29	1.00	5.00	1.31	3.02	1.40	1.00	1.00	2.28	3.54	2.38	5.00	5.00	1.63	3.63	2.56	1.00
94	5.00	2.68	1.00	2.39	3.29	5.00	1.14	1.43	1.00	1.32	2.64	1.00	2.35	5.00	2.51	1.68	5.00	1.00	2.29	3.03
95	1.85	1.00	5.00	3.94	1.06	1.81	1.00	5.00	4.07	1.69	1.95	2.22	5.00	2.61	1.00	2.83	1.00	5.00	3.51	1.57
96	2.07	1.31	1.00	5.00	1.17	1.58	1.19	1.00	5.00	1.37	1.48	4.00	1.00	--	2.08	1.43	2.18	1.00	5.00	1.18
97	2.85	2.47	4.88	5.00	1.00	1.25	1.00	2.22	2.13	5.00	2.62	1.00	4.00	3.95	--	2.03	5.00	2.58	2.45	1.00
98	5.00	2.76	1.04	1.00	1.07	5.00	2.17	1.00	1.02	1.12	1.35	3.76	5.00	1.00	3.03	5.00	2.05	1.00	1.14	1.12
99	2.51	1.00	5.00	4.32	1.28	2.38	1.00	5.00	3.34	1.22	5.00	1.00	2.19	1.56	1.01	1.18	4.36	2.36	1.00	5.00
100	4.00	1.50	1.44	1.00	ns	4.00	2.67	1.76	1.00	ns	1.00	3.94	3.62	4.00	ns	2.50	4.00	1.86	1.00	ns
101	5.00	2.24	3.68	1.00	1.24	1.62	1.12	1.21	1.00	5.00	3.44	4.00	2.25	1.00	--	4.27	3.61	4.43	1.00	5.00
102	4.00	2.49	2.60	1.00	ns	4.00	2.47	3.38	1.00	ns	4.00	3.94	1.93	1.00	ns	4.00	3.58	1.00	1.67	ns
116	1.79	1.38	5.00	3.59	1.00	1.79	1.20	5.00	2.84	1.00	3.21	1.46	1.00	5.00	3.07	3.00	1.50	5.00	4.00	1.00
117	5.00	1.99	1.80	1.49	1.00	5.00	1.28	1.27	1.08	1.00	5.00	4.61	2.68	1.00	2.71	4.72	5.00	1.00	1.51	1.28
118	5.00	1.58	3.25	1.00	3.50	1.47	1.06	1.13	1.00	5.00	1.00	4.00	2.09	2.08	--	2.83	5.00	1.00	4.20	2.94
119	4.59	3.74	3.06	5.00	1.00	1.57	4.70	1.17	5.00	1.00	2.85	--	3.00	--	1.00	5.00	1.00	2.85	1.28	1.18
120	2.51	3.90	1.00	5.00	4.48	5.00	1.17	1.52	1.02	1.00	1.00	2.62	1.29	5.00	2.67	3.39	2.80	5.00	1.00	1.41
121	3.12	1.00	3.83	1.31	5.00	1.00	1.21	5.00	1.36	1.24	5.00	4.36	1.61	1.70	1.00	2.02	1.65	5.00	1.00	2.67
122	1.41	1.96	5.00	4.76	1.00	1.04	1.00	5.00	3.68	1.45	2.75	2.12	5.00	4.71	1.00	1.00	1.14	5.00	3.67	3.09
123	5.00	1.88	2.11	1.00	1.69	5.00	1.24	1.37	1.00	1.32	5.00	1.00	3.55	1.15	1.57	5.00	3.63	2.24	1.00	3.64
124	2.02	4.00	1.00	1.17	ns	4.00	3.67	1.00	1.05	ns	1.00	4.00	3.16	2.34	ns	1.00	4.00	1.88	2.32	ns
125	5.00	1.49	2.32	1.00	1.67	5.00	1.11	1.68	1.00	1.34	5.00	1.31	2.91	1.00	1.28	5.00	1.78	2.42	1.41	1.00
126	3.11	3.94	5.00	4.47	1.00	5.00	2.77	3.78	3.18	1.00	5.00	2.52	1.19	1.00	2.22	2.33	2.64	5.00	4.69	1.00
127	4.00	2.72	1.00	1.97	ns	4.00	3.1													

Çizelge 4'ün devamı
Continuation of Table 4

Örnek alan	Kolmogorov-Smirnov (KS)					Anderson-Darling (AD)					Ki-kare (X ²)					Hata İndeksi (e)				
	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB
140	3.78	1.00	4.38	5.00	1.88	1.59	1.00	2.40	2.13	5.00	4.00	1.00	1.79	2.85	---	1.00	5.00	1.65	1.56	1.84
141	2.31	1.64	5.00	3.62	1.00	2.14	1.00	5.00	3.04	1.68	5.00	1.00	4.09	3.14	2.25	1.22	1.00	5.00	2.30	1.97
142	1.89	1.00	5.00	3.78	1.14	1.18	1.00	5.00	2.83	1.70	1.04	1.00	5.00	2.87	3.65	1.00	1.88	3.38	2.19	5.00
143	1.00	4.39	5.00	4.37	2.78	3.56	3.06	5.00	3.06	1.00	1.00	4.67	1.08	5.00	4.17	5.00	1.11	1.89	1.56	1.00
144	5.00	1.42	2.55	1.85	1.00	5.00	1.03	1.99	1.26	1.00	5.00	2.56	2.63	1.58	1.00	2.90	4.94	2.11	5.00	1.00
145	5.00	1.00	2.61	1.30	2.21	5.00	1.11	2.21	1.37	1.00	1.00	2.09	5.00	3.12	2.46	5.00	1.00	4.01	2.57	3.92
146	1.41	1.00	5.00	1.87	2.27	1.00	1.15	5.00	1.52	1.24	1.14	1.21	5.00	4.78	1.00	1.41	1.82	5.00	1.00	1.31
147	3.09	2.96	2.38	5.00	1.00	1.26	4.73	1.13	5.00	1.00	1.10	---	3.00	---	1.00	5.00	1.00	4.56	4.07	1.90
148	5.00	1.18	1.43	1.64	1.00	5.00	1.00	1.20	1.11	1.02	3.03	5.00	1.00	4.66	3.81	4.67	4.06	1.00	5.00	1.64
149	3.58	3.60	5.00	3.90	1.00	2.20	2.36	5.00	2.34	1.00	4.31	5.00	2.29	3.88	1.00	3.39	2.97	5.00	3.69	1.00
150	5.00	1.66	2.76	1.00	1.55	5.00	1.35	1.32	1.00	1.43	5.00	3.01	1.00	4.74	2.93	5.00	2.14	1.57	1.00	2.90
151	1.80	1.15	5.00	4.04	1.00	1.51	1.00	5.00	3.04	1.01	1.00	1.30	3.62	5.00	1.27	1.39	1.00	5.00	3.16	1.13
152	4.00	2.22	1.12	1.00	ns	4.00	1.89	1.02	1.00	ns	4.00	1.00	2.61	2.61	ns	1.00	4.00	2.84	2.79	ns
153	4.85	3.59	1.00	5.00	1.02	5.00	1.37	1.43	1.64	1.00	5.00	1.28	1.00	1.43	3.87	1.62	4.69	1.00	5.00	4.32
154	5.00	2.21	3.47	3.17	1.00	5.00	3.39	3.18	3.08	1.00	3.68	5.00	3.94	3.90	1.00	3.09	1.00	1.50	1.42	5.00
155	5.00	2.12	2.59	1.26	1.00	5.00	1.56	1.65	1.10	1.00	1.00	5.00	2.79	4.28	4.23	1.00	4.33	5.00	4.52	4.21
156	5.00	2.86	1.00	2.72	2.40	5.00	1.25	1.00	1.06	1.14	1.00	3.00	2.98	4.98	5.00	1.00	5.00	1.37	2.23	2.33
157	5.00	1.33	1.00	1.22	2.37	5.00	1.33	1.43	1.27	1.00	1.00	5.00	2.51	2.45	1.84	2.91	2.57	1.35	1.00	5.00
158	5.00	2.05	1.00	1.55	1.27	5.00	1.21	1.00	1.01	1.20	5.00	1.08	3.93	1.00	1.03	1.00	5.00	2.47	2.60	4.00
159	5.00	1.32	1.96	1.28	1.00	5.00	1.24	1.22	1.00	1.09	5.00	3.34	1.08	4.07	1.00	5.00	3.00	1.29	1.00	1.86
160	5.00	1.72	3.01	1.46	1.00	2.01	1.03	1.21	1.00	5.00	4.00	1.00	1.74	1.47	---	3.32	1.00	2.04	1.01	5.00
161	5.00	2.33	2.57	1.00	1.89	5.00	1.35	1.36	1.00	1.08	5.00	3.42	4.02	1.00	1.32	5.00	4.93	2.88	1.89	1.00
162	5.00	2.75	2.82	2.84	1.00	5.00	3.02	1.76	3.59	1.00	1.00	2.87	1.70	3.13	5.00	4.30	5.00	3.55	2.86	1.00
163	1.97	2.64	1.00	1.22	5.00	1.53	1.11	1.14	1.00	5.00	4.00	1.00	2.71	1.01	---	1.31	3.08	2.08	1.00	5.00
164	3.14	3.55	2.95	5.00	1.00	1.00	2.53	1.06	5.00	2.40	2.91	1.00	3.00	---	---	1.00	5.00	2.75	4.75	2.25
192	2.63	1.27	5.00	2.42	1.00	1.85	1.42	5.00	1.81	1.00	4.51	5.00	3.40	1.00	4.39	5.00	4.48	1.52	1.00	4.30
193	1.00	2.96	4.00	2.51	ns	1.00	1.92	4.00	1.88	ns	1.00	4.00	3.53	2.95	ns	1.00	1.52	4.00	1.58	ns
194	1.00	3.08	5.00	3.17	2.07	1.00	2.44	5.00	2.56	1.78	1.00	2.75	5.00	2.67	1.87	1.14	1.00	5.00	3.83	3.82
195	1.00	3.02	5.00	3.06	1.75	1.00	2.92	5.00	2.69	1.96	1.00	3.67	5.00	2.37	1.51	3.00	1.00	5.00	3.67	4.33
222	1.00	4.58	4.33	5.00	1.45	2.52	5.00	3.16	4.57	1.00	2.23	1.00	3.60	2.34	5.00	1.27	1.18	5.00	4.96	1.00
223	5.00	1.99	2.55	2.42	1.00	5.00	1.00	1.76	1.04	1.03	5.00	1.82	4.58	1.72	1.00	5.00	1.00	2.23	1.09	1.53
224	5.00	2.81	1.00	1.01	1.07	5.00	1.54	1.46	1.00	1.01	3.17	1.00	5.00	4.53	3.63	5.00	3.22	2.20	1.01	1.00
225	2.61	2.90	5.00	4.65	1.00	1.00	1.74	5.00	3.54	4.05	5.00	4.92	2.85	1.00	1.69	1.00	4.82	5.00	3.01	3.06
226	4.00	3.39	1.17	1.00	ns	4.00	1.85	1.18	1.00	ns	2.41	3.83	4.00	1.00	ns	4.00	3.42	1.87	1.00	ns
227	5.00	1.00	1.67	1.13	2.16	5.00	1.22	1.70	1.00	1.38	5.00	1.24	2.23	1.52	1.00	5.00	1.92	1.87	1.00	1.52
228	1.26	1.00	5.00	3.77	3.33	2.89	1.00	5.00	4.06	1.67	5.00	1.00	2.69	2.36	1.56	1.00	5.00	1.30	1.28	1.18
229	3.93	5.00	1.00	1.66	4.53	1.25	3.20	5.00	1.00	2.23	5.00	1.89	1.00	1.76	1.89	1.00	1.36	3.18	2.45	5.00
230	4.00	1.53	1.66	1.00	ns	4.00	1.45	1.25	1.00	ns	4.00	1.00	1.67	1.01	ns	4.00	3.99	1.46	1.00	ns
231	5.00	1.03	2.87	1.00	1.73	5.00	1.00	1.64	1.05	1.17	5.00	1.32	3.11	1.54	1.00	5.00	1.15	2.29	1.00	2.24
232	5.00	1.47	2.24	1.00	1.22	5.00	1.33	1.22	1.00	1.27	4.73	4.98	1.99	1.00	5.00	3.15	1.00	5.00	2.85	1.31
233	5.00	2.20	1.00	1.50	2.02	5.00	1.51	1.64	1.57	1.00	5.00	1.00	3.50	1.53	2.61	1.00	1.48	2.03	1.73	5.00
234	5.00	2.81	1.00	3.55	2.03	5.00	1.21	1.00	1.55	1.21	5.00	1.00	1.05	4.31	1.63	1.41	1.65	1.27	1.00	5.00
235	2.71	1.00	4.52	5.00	2.15	1.15	1.00	1.94	1.74	5.00	1.00	1.00	4.00	1.66	---	1.00	1.18	1.47	1.45	5.00
240	5.00	1.20	2.51	1.61	1.00	5.00	1.06	1.19	1.00	1.09	3.46	2.92	5.00	1.00	3.05	4.78	3.63	1.00	1.52	5.00
241	1.19	1.00	4.00	2.32	ns	2.34	1.05	4.00	1.00	ns	4.00	2.15	2.38	1.00	ns	1.00	2.97	4.00	3.27	ns
242	5.00	2.62	1.00	1.41	3.64	5.00	1.17	1.03	1.00	1.28	5.00	4.59	2.78	1.00	4.74	5.00	3.02	1.58	1.48	1.00
243	5.00	1.84	2.82	2.15	1.00	1.95	1.00	1.13	1.00	5.00	4.00	1.00	2.11	1.31	---	5.00	1.55	1.38	1.07	1.00
244	5.00	1.00	1.39	1.24	1.30	5.00	1.04	1.18	1.09	1.00	5.00	2.36	2.78	1.00	3.63	5.00	1.07	1.00	2.84	4.67
245	1.01	5.00	1.08	1.02	1.00	1.25	1.04	5.00	3.06	1.00	3.44	1.00	3.25	5.00	1.02	1.00	1.03	1.37	1.32	5.00
246	1.13	1.00	5.00	3.38	1.15	1.00	1.00	5.00	1.98	1.06	1.00	1.25	5.00	3.25	1.00	1.00	1.02	2.10	1.42	5.00
247	5.00	4.41	4.95	4.74	1.00	5.00	1.74	1.79	1.82	1.00	1.00	5.00	3.42	1.79	4.06	1.00	2.32	1.58	1.74	5.00
248	1.23	1.00	5.00	3.36	1.46	1.16	1.00	5.00	2.36	1.17	1.00	3.94	5.00	3.11	1.96	1.00	1.57	5.00	2.59	1.63
249	1.69	1.00	5.00	1.99	2.26	1.00	1.09	5.00	2.03	1.30	1.00	1.72	5.00	1.59	1.16	1.32	1.00	5.00	2.73	2.27
250	1.00	2.16	5.00	2.39	1.61	1.36	1.37	5.00	1.18	1.00	3.92	3.86	5.00	1.00	3.89	1.48	1.46	1.00	1.13	5.00
251	1.41	1.00	5.00	3.36	1.41	1.20	1.14	5.00	2.76	1.00	3.06	5.00	4.29	1.00	3.29	1.00	1.61	2.76	1.79	5.00
254	1.00	5.00	3.49	3.83	1.69	4.30	5.00	4.16	4.08	1.00	2.02	3.66	5.00	4.95	1.00	1.00	1.42	1.21	1.20	5.00
255	1.00	1.39	5.00	2.18	3.02	1.79	1.80	5.00	1.88	1.00	2.20	2.71	4.25	1.00	5.00	1.00	2.35	5.00	2.44	1.79
256	5.00	2.03	1.00	1.22	3.09	5.00	1.29	1.03	1.00	1.43	4.08	5.00	4.99	1.00	4.97	5.00	1.25	2.00	1.75	1.00
257	4.64	4.44	1.00	2.84	5.00	5.00	1.42	1.00	1.11	1.17	4.76	4.84	2.41	5.00	1.00	1.13	5.00	1.00	2.29	1.77
258	5.00	1.31	2.04	1.32	1.00	5.00	1.39	1.34	1.00	1.13	5.00	1.00	2.86	1.08	1.23	1.00	4.47	5.00	2.78	2.96
259	5.00	1.14	1.00	1.21	3.26	5.00	1.38	1.12	1.00	1.06	1.00	3.89	5.00	3.84	3.83	5.00	1.93	3.20	2.45	1.00
260	5.00	1.00	1.97	1.30	1.82	5.00	1.00	1.14	1.05	1.04	2.96	4.18	1.00	1.54	5.00	5.00	3.00	1.67	1.00	4.67
261	1.0																			

Çizelge 5. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı sıraları (Ekorejyon 4)

Table 5. Ranks of probability density functions (Ecoregion 4)

Örnek alan	Kolmogorov-Smirnov (KS)					Anderson-Darling (AD)					Ki-kare (X^2)					Hata İndeksi (e)				
	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB
	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB	Weibull-2p	Weibull-3p	Gamma-2p	Gamma-3p	Johnson SB
31	5.00	1.55	3.56	1.47	1.00	1.92	1.01	1.26	1.00	5.00	4.00	1.00	2.45	1.28	---	5.00	1.41	2.71	1.00	3.26
32	1.09	1.86	4.60	5.00	1.00	1.36	3.06	5.00	4.93	1.00	5.00	1.28	2.98	3.65	1.00	3.44	2.75	4.94	5.00	1.00
33	1.00	5.00	4.10	4.41	3.38	5.00	2.41	2.48	1.00	1.64	5.00	1.00	2.63	1.51	1.87	5.00	3.07	3.90	1.00	2.10
34	1.81	4.00	1.00	1.65	ns	4.00	2.48	1.15	1.00	ns	3.31	4.00	1.00	1.76	ns	4.00	3.06	1.00	1.42	ns
35	5.00	1.86	3.02	1.48	1.00	2.01	1.06	1.24	1.00	5.00	4.00	1.00	1.97	1.01	---	5.00	2.67	3.18	2.01	1.00
36	5.00	2.02	1.27	1.52	1.00	5.00	2.10	1.08	1.16	1.00	5.00	1.84	1.02	3.06	1.00	5.00	3.39	1.14	1.29	1.00
37	4.32	4.46	5.00	4.06	1.00	1.51	2.82	5.00	3.28	1.00	1.00	1.64	1.10	1.44	5.00	1.00	3.50	5.00	4.29	1.98
38	5.00	1.15	2.80	1.07	1.00	5.00	1.12	1.54	1.00	1.44	5.00	3.00	3.24	1.00	2.96	3.42	4.50	1.00	1.83	5.00
39	5.00	1.47	2.59	1.00	1.63	5.00	1.17	1.60	1.00	1.33	5.00	2.27	1.75	1.00	2.89	5.00	1.47	2.75	1.22	1.00
40	4.14	5.00	4.50	4.80	1.00	1.32	1.46	1.00	1.42	5.00	4.00	1.09	1.39	1.00	---	1.74	5.00	4.57	4.51	1.00
41	4.00	2.71	1.00	1.60	ns	4.00	2.54	1.23	1.00	ns	3.08	4.00	1.00	1.02	ns	4.00	3.13	1.22	1.00	ns
42	3.61	4.00	1.00	1.89	ns	4.00	2.72	1.18	1.00	ns	3.84	4.00	1.00	1.83	ns	1.00	1.04	4.00	1.79	ns
43	5.00	2.39	1.89	1.18	1.00	5.00	1.50	1.11	1.00	1.05	1.00	1.98	2.01	5.00	5.00	5.00	2.98	1.61	1.08	1.00
44	5.00	1.19	1.41	1.34	1.00	5.00	1.38	1.08	1.00	1.54	5.00	2.79	1.47	1.00	2.27	5.00	1.83	1.17	1.00	3.08
45	1.00	4.00	2.99	2.89	ns	4.00	1.87	1.03	1.00	ns	1.00	1.37	4.00	3.99	ns	1.00	4.00	2.33	2.50	ns
46	4.00	2.46	1.00	1.03	ns	4.00	1.90	1.11	1.00	ns	1.00	4.00	3.11	3.10	ns	1.00	4.00	2.53	2.18	ns
47	4.00	1.90	1.00	1.21	ns	4.00	2.07	1.39	1.00	ns	4.00	1.00	1.48	1.47	ns	4.00	1.00	1.22	1.56	ns
48	4.65	4.05	1.00	5.00	3.26	1.69	1.88	5.00	2.56	1.00	1.83	1.00	2.14	5.00	4.65	3.46	4.69	5.00	1.92	1.00
49	5.00	1.74	3.30	1.86	1.00	2.32	1.00	1.41	1.01	5.00	4.00	1.83	1.00	1.67	---	3.65	4.60	1.00	4.15	5.00
50	5.00	1.85	2.81	1.71	1.00	5.00	1.10	2.12	1.17	1.00	3.18	3.28	5.00	1.00	3.03	3.23	5.00	1.85	1.00	4.15
69	5.00	2.33	3.11	1.92	1.00	3.05	1.17	1.43	1.00	5.00	4.00	3.09	2.88	1.00	---	5.00	2.69	3.12	1.92	1.00
70	3.57	1.00	5.00	3.65	1.50	2.67	1.00	5.00	2.33	1.11	5.00	1.00	2.06	4.70	1.80	4.26	1.00	5.00	3.05	2.95
71	5.00	1.59	1.41	1.00	1.88	5.00	1.29	1.38	1.00	1.30	3.92	5.00	1.77	1.00	4.83	5.00	1.55	1.71	1.00	1.11
72	1.16	1.75	5.00	1.00	3.72	2.24	1.98	5.00	2.12	1.00	1.00	1.95	5.00	2.32	1.90	1.00	2.89	5.00	2.93	3.38
73	5.00	1.64	3.03	1.72	1.00	5.00	1.15	1.89	1.00	1.15	5.00	2.59	1.74	1.35	1.00	5.00	1.76	1.93	1.00	1.15
74	5.00	2.76	2.97	1.00	3.13	5.00	1.19	2.84	1.00	1.16	2.67	3.02	5.00	3.18	1.00	5.00	4.37	4.41	1.00	4.49
75	5.00	1.00	1.45	1.29	2.59	5.00	1.14	1.31	1.15	1.00	4.33	3.32	2.61	1.00	5.00	5.00	2.09	1.17	1.00	1.74
76	3.39	5.00	1.00	3.62	3.26	1.00	1.62	5.00	2.70	1.39	3.22	1.00	3.55	5.00	3.05	1.00	2.78	5.00	3.22	1.89
77	1.66	1.50	5.00	4.10	1.00	1.41	1.41	5.00	3.02	1.00	1.00	5.00	3.99	2.49	2.96	1.39	1.90	5.00	2.84	1.00
78	1.75	5.00	4.48	2.92	1.00	1.85	2.75	5.00	3.35	1.00	1.00	4.92	4.84	4.90	5.00	3.67	5.00	4.70	4.41	1.00
79	1.19	1.00	5.00	2.53	1.12	1.00	1.44	5.00	3.02	1.24	1.00	1.03	2.89	2.88	5.00	1.00	2.10	5.00	2.94	4.60
80	5.00	2.25	1.00	1.06	2.19	5.00	1.40	1.01	1.00	1.31	5.00	1.00	1.54	1.55	1.02	1.00	2.40	5.00	4.85	4.97
81	1.89	5.00	3.90	3.28	1.00	2.07	3.21	5.00	3.81	1.00	3.45	5.00	1.00	3.15	2.79	3.97	5.00	4.87	4.61	1.00
82	2.35	1.95	5.00	3.52	1.00	1.51	1.29	5.00	2.20	1.00	1.00	2.00	5.00	2.94	2.19	2.06	1.00	5.00	2.73	2.06
83	5.00	3.23	2.67	3.70	1.00	5.00	1.87	1.94	1.90	1.00	5.00	1.65	1.00	2.67	1.50	1.00	5.00	1.56	3.35	4.89
84	5.00	1.00	1.59	1.86	2.78	5.00	1.43	1.58	1.51	1.00	5.00	2.26	1.00	1.37	2.75	1.00	5.00	1.46	2.13	3.97
204	4.94	3.36	5.00	3.92	1.00	1.97	1.82	5.00	3.13	1.00	2.16	1.00	4.28	5.00	1.47	1.35	1.13	5.00	3.55	1.00
205	2.04	1.92	5.00	3.88	1.00	1.00	1.15	5.00	3.30	1.03	1.00	1.75	4.97	5.00	2.31	3.03	3.17	5.00	3.78	1.00
206	1.00	2.44	5.00	3.36	1.79	1.39	1.80	5.00	2.45	1.00	5.00	1.46	1.06	1.00	2.29	1.00	1.07	5.00	2.90	1.59
207	5.00	2.56	1.00	1.15	3.13	5.00	1.25	1.04	1.00	1.30	1.00	5.00	4.99	5.00	4.97	2.11	4.33	1.22	1.00	5.00
208	5.00	1.07	3.09	1.00	1.63	2.02	1.04	1.37	1.00	5.00	4.00	1.00	1.64	1.12	---	5.00	2.23	2.78	1.84	1.00
209	4.02	1.05	5.00	3.91	1.00	1.43	1.00	1.88	1.48	5.00	4.00	1.00	3.33	3.62	---	1.00	5.00	1.52	1.09	1.23
210	1.54	3.07	4.00	1.00	ns	4.00	1.67	1.58	1.00	ns	1.00	2.79	2.22	4.00	ns	4.00	1.00	2.83	2.22	ns
211	5.00	1.77	2.72	1.00	1.25	5.00	1.22	1.65	1.00	1.14	5.00	1.84	3.04	1.00	1.82	3.88	5.00	1.00	1.35	1.91
212	5.00	1.10	1.00	1.79	1.09	5.00	1.06	1.76	1.00	1.08	5.00	3.01	1.82	1.00	1.13	1.52	5.00	1.03	1.05	1.00
213	1.05	1.00	4.00	3.62	ns	4.00	1.00	1.98	1.55	ns	4.00	1.00	2.47	1.64	ns	1.00	4.00	3.29	3.31	ns
214	4.00	3.09	1.00	1.33	ns	4.00	1.94	1.18	1.00	ns	1.00	1.78	1.45	4.00	ns	4.00	1.05	1.00	1.08	ns
215	5.00	1.27	2.11	1.00	1.67	5.00	1.18	1.47	1.06	1.00	4.91	5.00	2.90	1.00	4.76	1.14	4.43	1.00	4.37	5.00
216	1.00	3.18	5.00	3.96	1.85	1.00	2.11	5.00	2.47	1.20	2.40	3.77	5.00	4.05	1.00	5.00	1.00	4.56	4.20	4.73
217	5.00	3.36	2.97	3.58	1.00	5.00	3.83	4.15	4.08	1.00	1.00	2.06	1.10	5.00	1.46	1.07	5.00	1.00	1.17	1.82
218	5.00	3.70	1.85	1.00	2.09	5.00	2.21	1.55	1.00	1.41	1.00	2.95	1.33	5.00	4.96	5.00	4.74	1.00	1.52	3.00
219	5.00	1.78	2.91	2.30	1.00	5.00	2.56	3.65	2.84	1.00	1.00	1.08	2.31	2.75	5.00	4.69	3.64	5.00	4.52	1.00
220	4.00	3.04	1.00	2.79	ns	4.00	1.63	1.00	1.41	ns	1.00	4.00	3.58	3.79	ns	4.00	1.31	1.82	1.00	ns
221	5.00	1.79	3.35	1.00	3.25	5.00	1.18	1.79	1.00	1.14	5.00	1.08	1.24	1.00	2.41	5.00	1.33	2.78	2.56	1.00
236	1.00	4.50	5.00	4.03	2.45	1.28	3.70	5.00	2.58	1.00	1.86	4.97	4.43	5.00	1.00	1.00	3.67	5.00	3.22	1.89
237	2.49	3.57	2.11	5.00	1.00	2.40	4.08	2.03	5.00	1.00	2.37	5.00	1.00	4.68	1.02	5.00	2.69	2.96	4.47	1.00
238	2.90	3.56	5.00	3.76	1.00	1.63	2.35	5.00	2.37	1.00	1.00	3.83	1.83	5.00	2.07	1.00	1.88	5.00	2.35	1.68
239	5.00	2.56	1.92	2.79	1.00	5.00	2.67	2.06	3.50	1.00	5.00	2.04	2.09	1.00	1.35	3.06	4.65	1.99	5.00	1.00
252	1.00	5.00	3.02	2.18	1.56	5.00	2.46	2.08	1.24	1.00	1.00	4.39	4.54	4.70	5.00	1.00	5.00	3.73	3.44	3.32
253	5.00	1.72	2.41	2.16	1.00	5.00	1.00	1.66	1.10	1.01	2.48	1.00	1.54	5.00	4.74	5.00	1.22	2.47	1.16	1.00
Ort.	3.69	2.57	2.95	2.43	1.58	3.47	1.80	2.59	1.80	1.66	3.07	2.50	2.53	2.73	2.80	3.10	3.05	3.00	2.45	2.26

Çizelge 3, 4 ve 5'te

göre 42 defa ve AD istatistiğine göre 85 defa ilk sırada yer almıştır. Ayrıca, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 73 defa, X^2 istatistiğine göre 50 defa, KS istatistiğine göre 116 defa ve AD istatistiğine göre 114 defa ilk sırada yer almıştır.

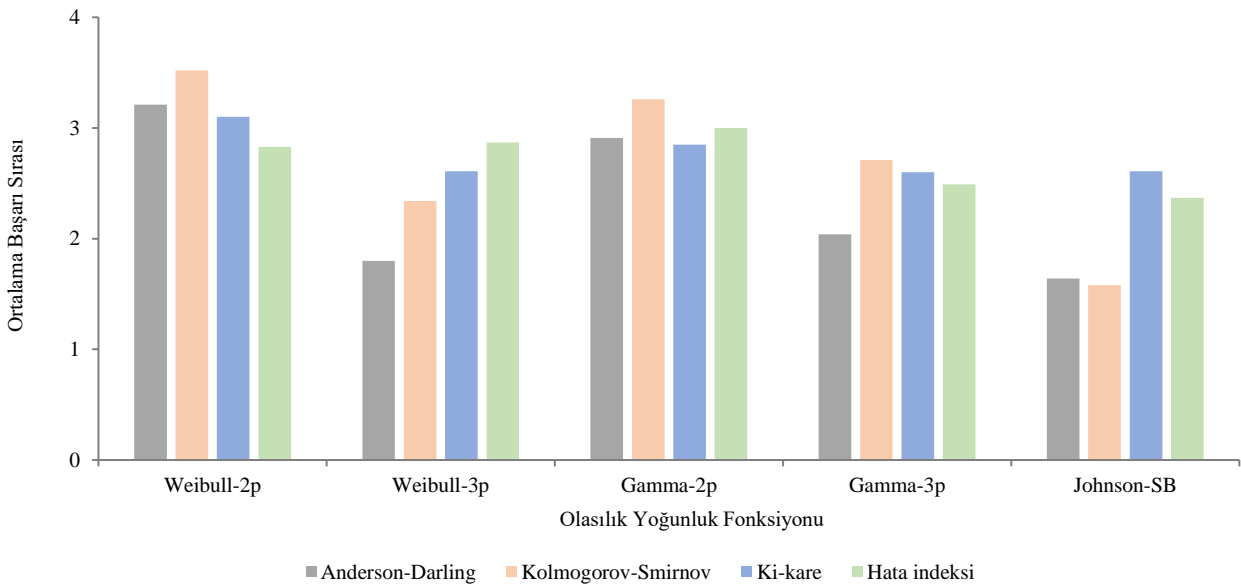
Her bir örnek alan için istatistiksel ölçütler göz önünde bulundurularak ayrı ayrı incelenen olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin rölatif başarı sıralamalarının ortalamaları (\bar{R}_i) alınarak genel durum ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu sonuçlar incelendiğinde; olasılık yoğunluk fonksiyonları en başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.64$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.04$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.91$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.21$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.58$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.34$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.71$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.26$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.52$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.60$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.61$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.61$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.85$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.10$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.37$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.49$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.83$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.87$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.00$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 6). Bu sıralamalarda, parametre tahminleri yapılamayan (çözümlemeyen) fonksiyonlara herhangi bir sıralama değeri verilmemiş ve bu fonksiyonlar sıralamaya dâhil edilmemiştir. Ayrıca, bazı örnek alanlar için hesaplanamamış olan X^2 istatistikleri sıralamaya dâhil edilememiş ve ortalama hesabına girmemiştir.

Çalışma kapsamında incelenen 274 örnek alan için en iyi sonuçların elde edildiği olasılık yoğunluk fonksiyonları; AD 'ye göre Johnson SB, KS 'ye göre Johnson SB, X^2 'ye göre Gamma-3p ve e 'ye göre Johnson SB olarak bulunmuştur. Ancak, 31 örnek alanda Johnson SB fonksiyonu için X^2 istatistiğinin hesaplanamamış olması da göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. X^2 hariç diğer tüm istatistiksel ölçütlerde en başarılı fonksiyon olarak Johnson SB bulunmuş olup, bu fonksiyon Kastamonu ve Sinop

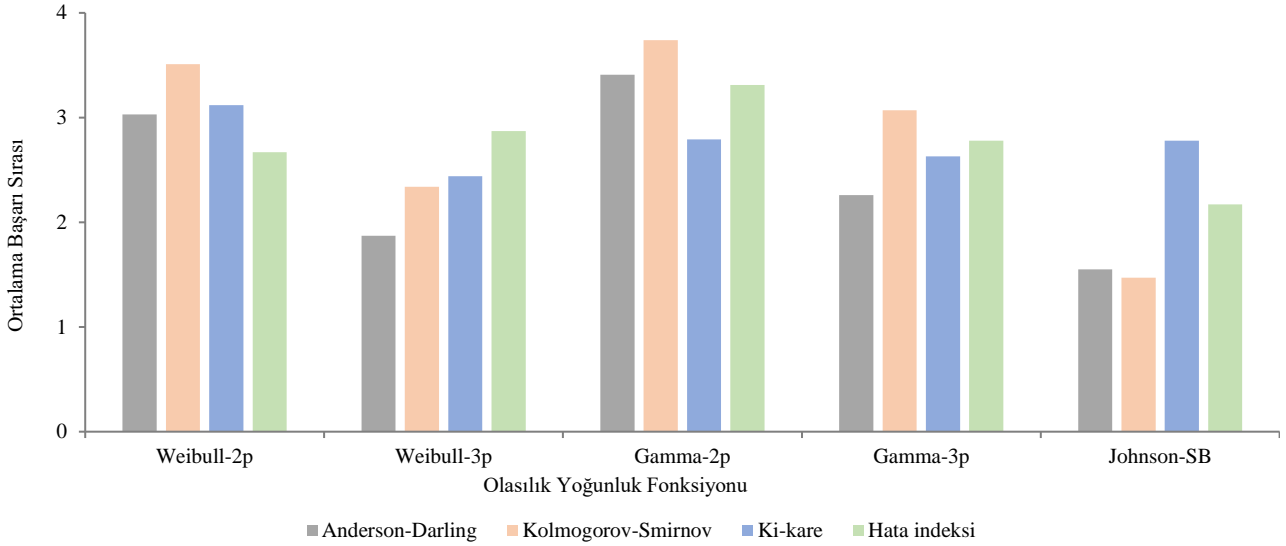
Bölgelerinde yayılış yapan Karaçam meşcereleri için en uygun fonksiyon olarak görülmektedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının başarı sıralamaları Ekorejyon 1 özelinde incelendiğinde; Johnson SB fonksiyonu 63 örnek alanın 7'sinde çözümlenememiştir. Ayrıca, 6 örnek alanda Johnson SB, 1 örnek alanda Gamma-3p ve 1 örnek alanda Weibull-2p fonksiyonları için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 1'den alınan 63 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 18 defa, X^2 istatistiğine göre 11 defa, KS istatistiğine göre 3 defa ve AD istatistiğine göre 2 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 13 defa, X^2 istatistiğine göre 18 defa, KS istatistiğine göre 15 defa ve AD istatistiğine göre 13 defa ilk sırada yer almıştır. Bunun yanında, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 9 defa, X^2 istatistiğine göre 10 defa ve KS istatistiğine göre 4 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 8 defa, X^2 istatistiğine göre 12 defa, KS istatistiğine göre 8 defa ve AD istatistiğine göre 16 defa ilk sırada yer almıştır. Son olarak, Johnson SB fonksiyonu da e istatistiğine göre 15 defa, X^2 istatistiğine göre 12 defa, KS istatistiğine göre 33 defa ve AD istatistiğine göre 32 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 1 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine Johnson SB ($\bar{R}_i=1.55$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.87$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.26$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.03$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.41$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.47$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.34$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=3.07$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.51$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.74$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.44$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.63$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.78$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.79$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.12$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.17$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.67$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.78$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.87$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.31$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 7).



Şekil 6. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin genel ortalama başarı puanları
Figure 6. Overall average success scores for probability density functions

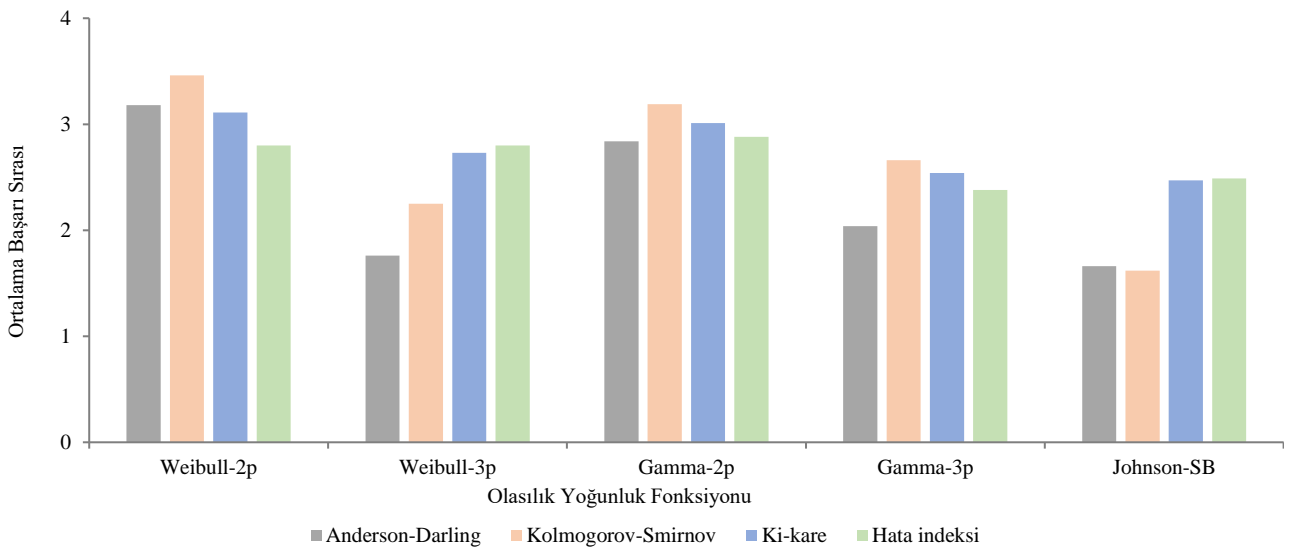


Şekil 7. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 1)
Figure 7. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 1)

Parametre tahmini yapılan fonksiyonlarının başarı sıralamaları Ekorejyon 3 için incelendiğinde, 151 örnek alanın 17'sinde Johnson SB fonksiyonunun çözümlenemediği görülmektedir. Bununla birlikte, 18 örnek alanda Johnson SB, 6 örnek alanda Gamma-3p ve 3 örnek alanda Weibull-3p fonksiyonları için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 3'ten alınan 151 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 39 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 19 defa ve AD istatistiğine göre 16 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 20 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 28 defa ve AD istatistiğine göre 23 defa ilk sırada yer almıştır. Bunun yanında, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 26 defa, X^2 istatistiğine göre 23 defa, KS istatistiğine göre 24 defa ve AD istatistiğine göre 10 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 28 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 24 defa ve AD istatistiğine göre 43 defa ilk sırada yer

almıştır. Bunun yanında, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 38 defa, X^2 istatistiğine göre 32 defa, KS istatistiğine göre 56 defa ve AD istatistiğine göre 59 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 3 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.66$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.76$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.04$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.84$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.18$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.62$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.25$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.66$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.19$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.46$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=2.47$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.54$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.73$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.01$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.11$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.38$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.49$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.80$), Weibull-2p ($\bar{R}_i=2.80$) ve Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.88$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 8).



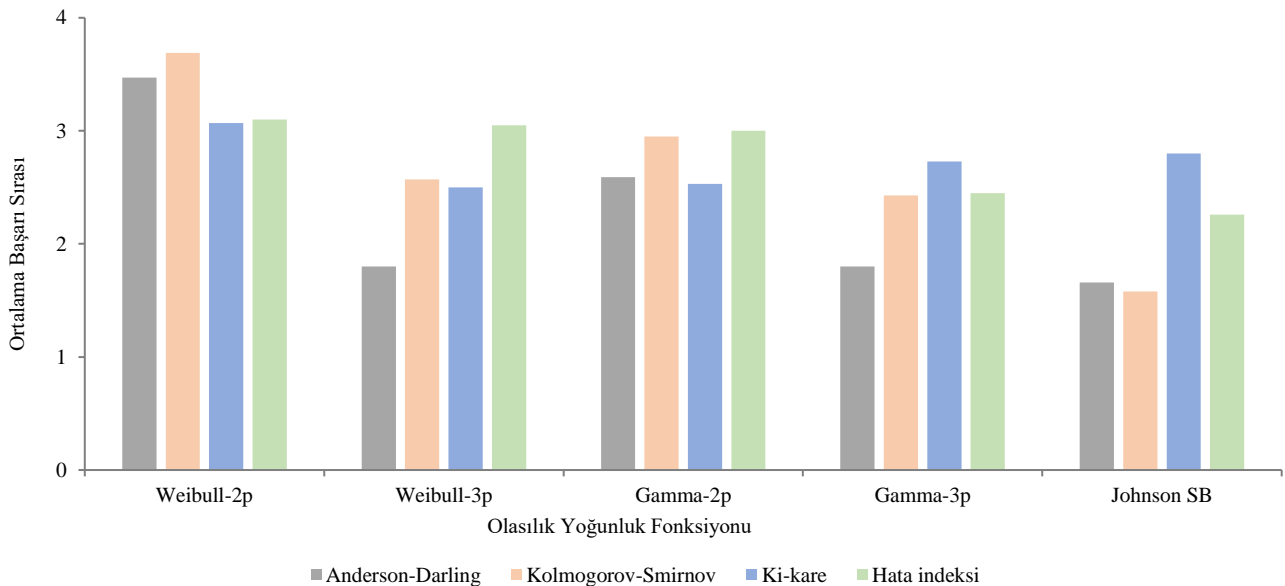
Şekil 8. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 3)
Figure 8. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 3)

Ekorejyon 4 için parametre tahmini yapılan Olasılık yoğunluk fonksiyonları için başarı sıralamaları incelendiğinde, 60 örnek alanın 10'unda Johnson SB fonksiyonu çözümlenememiştir. Ayrıca, 7 örnek alanda Johnson SB fonksiyonu için X^2 istatistikleri hesaplanamamıştır. Ekorejyon 4'ten alınan 60 örnek alan içerisinde Weibull-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 16 defa, X^2 istatistiğine göre 19 defa, KS istatistiğine göre 6 defa ve AD istatistiğine göre 4 defa ilk sırada yer almıştır. Weibull-3p fonksiyonu e istatistiğine göre 5 defa, X^2 istatistiğine göre 13 defa, KS istatistiğine göre 5 defa ve AD istatistiğine göre 5 defa ilk sırada yer almıştır. Bununla birlikte, Gamma-2p fonksiyonu e istatistiğine göre 8 defa, X^2 istatistiğine göre 8 defa, KS istatistiğine göre 12 defa ve AD istatistiğine göre 2 defa ilk sırada yer almıştır. Gamma-3p fonksiyonu ise e istatistiğine göre 11 defa, X^2 istatistiğine göre 14 defa, KS istatistiğine göre 10 defa ve AD istatistiğine göre 26 defa ilk sırada yer almıştır. Son olarak, Johnson SB fonksiyonu e istatistiğine göre 20 defa, X^2 istatistiğine göre 6 defa, KS istatistiğine göre 27 defa ve AD istatistiğine göre 23 defa ilk sırada yer almıştır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonları, Ekorejyon 4 içerisindeki örnek alanlar için başarılıdan başarısız doğru AD istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.66$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=1.80$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.59$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.47$) şeklinde, KS istatistiğine göre Johnson SB ($\bar{R}_i=1.58$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.43$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.57$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.95$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.69$) şeklinde, X^2 istatistiğine göre Weibull-3p ($\bar{R}_i=2.50$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=2.53$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.73$), Johnson SB ($\bar{R}_i=2.80$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.07$) şeklinde ve e istatistiğine göre de Johnson SB ($\bar{R}_i=2.26$), Gamma-3p ($\bar{R}_i=2.45$), Gamma-2p ($\bar{R}_i=3.00$), Weibull-3p ($\bar{R}_i=3.05$) ve Weibull-2p ($\bar{R}_i=3.10$) şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 9).

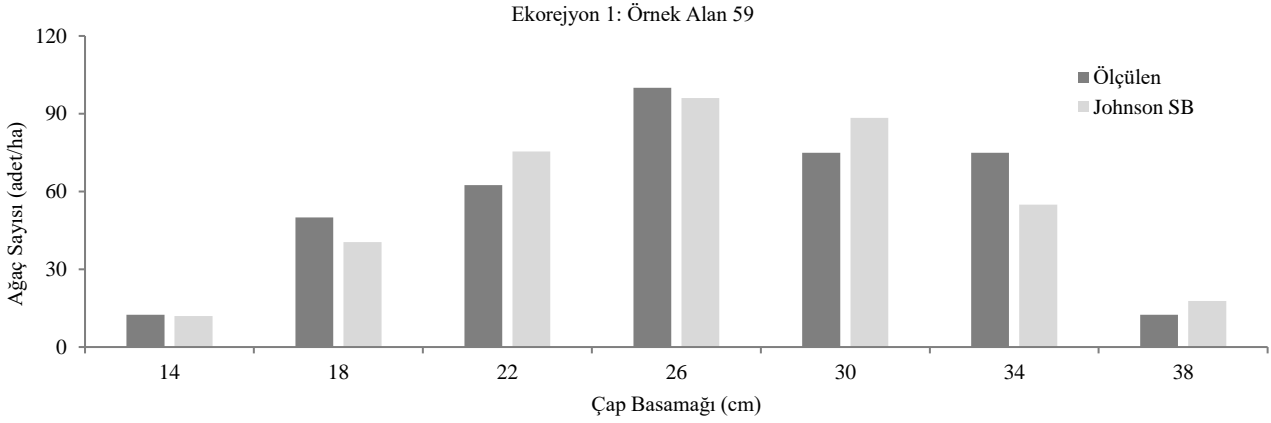
Çalışma kapsamında örnek alanlar için parametre tahminleri yapılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının rölatif başarı sıralamalarının ekorejyonlara göre ortalamaları alınarak söz konusu başarı sıralamaları üç farklı ekorejyon için ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçlara göre, üç farklı ölçüte (e , KS ve AD) göre Johnson SB fonksiyonu ve X^2 istatistik ölçütüne göre de Weibull-3p fonksiyonu Ekorejyon 1 için en başarılı model olarak öne çıkmaktadır. Yine üç farklı ölçüte (X^2 , KS ve AD) göre Johnson SB fonksiyonu ve e ölçütüne göre de Gamma-3p fonksiyonu Ekorejyon 3 için en başarılı sıralama değerlerine sahip olmuştur. Ancak, e istatistik ölçütüne göre Gamma-3p fonksiyonunun ortalama başarı sırası ($\bar{R}_i=2.38$) ile Johnson SB fonksiyonunun ortalama başarı sırası ($\bar{R}_i=2.49$) birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Ayrıca, üç farklı ölçüte göre (e , KS ve AD) Johnson SB fonksiyonu ve X^2 ölçütüne göre ise Weibull-3p fonksiyonu Ekorejyon 4 için en başarılı sonuçları vermiştir. Sonuç olarak, ortalama rölatif başarı sıralaması dikkate alındığında tüm ekorejyonlar için en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonunun Johnson SB fonksiyonu olduğu belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, ekorejyonların her üçü için de en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak belirlenen Johnson SB fonksiyonuna ilişkin tahmin başarılarının görsel olarak ortaya konulabilmesi amacıyla örnek alanlardaki çap basamaklarına ilişkin ölçülen (gerçek) ve Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen ağaç sayıları grafik eksenlere taşınmıştır. Bu amaçla, en başarılı fonksiyonun Johnson SB olarak belirlendiği örnek alanlar arasında ekorejyonları temsil edecek örnek alanlar belirlenmiş ve bu örnek alanlara ilişkin dağılım grafikler çizilmiştir (Şekil 10, 11 ve 12).

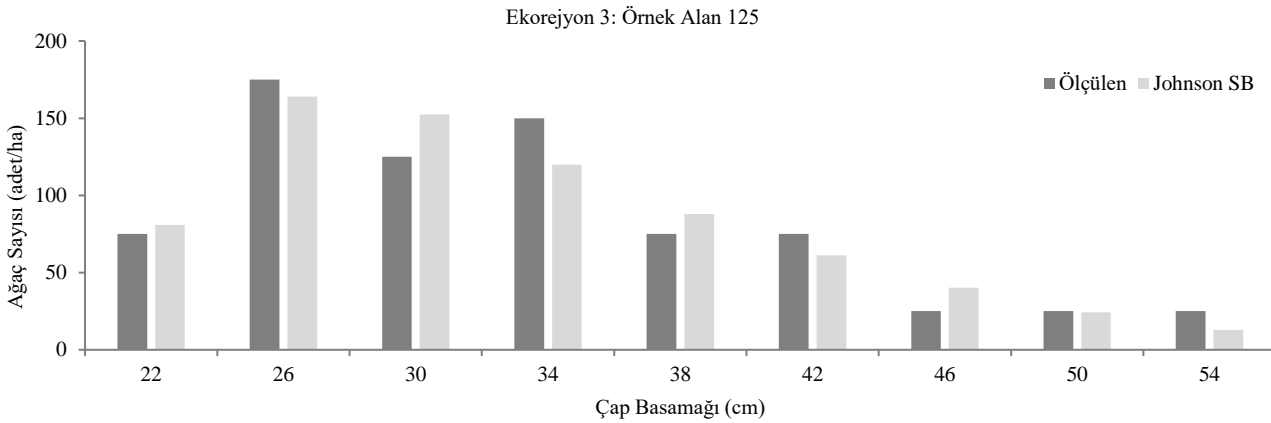


Şekil 9. Olasılık yoğunluk fonksiyonlarının genel ortalama başarı puanları (Ekorejyon 4)

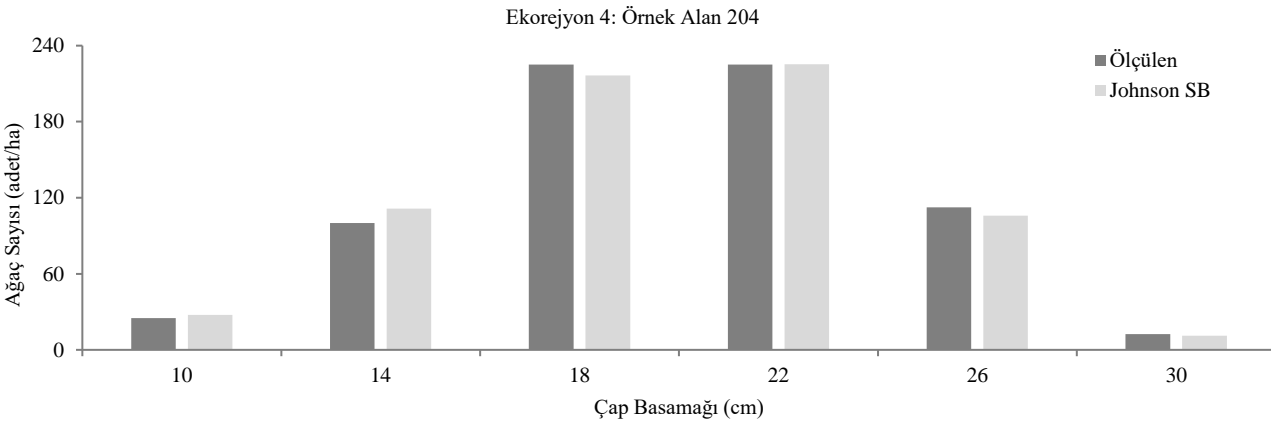
Figure 9. Overall average success scores of probability density functions (Ecoregion 4)



Şekil 10. 59 nolu örnek alana (Ekorejyon 1) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 10. Johnson SB distribution for sample plot 59 (Ecoregion 1)



Şekil 11. 125 nolu örnek alana (Ekorejyon 3) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 11. Johnson SB distribution for sample plot 125 (Ecoregion 3)



Şekil 12. 204 nolu örnek alana (Ekorejyon 4) ilişkin Johnson SB dağılımı
Figure 12. Johnson SB distribution for sample plot 204 (Ecoregion 4)

Kastamonu ve Sinop Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisindeki saf karaçam meşcerelerine için çap dağılımlarının modellendiği bu çalışmada, istatistiksel ve grafik yöntemlere göre Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu çalışma alanı içerisindeki tüm ekorejyonlar için başarılı bulunmuştur. Şekil 10, 11 ve 12 incelendiğinde; tüm ekorejyonlar için Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tahmin edilen çap basamaklarındaki ağaç sayıları ile

gerçek değerler arasında oldukça benzerlik görüldüğü ve modele ilişkin tahmin başarısının tatmin edici düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

Johnson (1949) tarafından geliştirilen ve yapısı gereği biyolojik değişkenlerin açıklanmasında veya temsil edilmesinde diğer modellere kıyasla daha başarılı sonuçlar veren SB dağılımı aynı zamanda diğer dağılımlara kıyasla daha geniş dağılım şekillerini açıklayabilen esnek bir yapıya

sahiptir. Ülkemizde yayılış gösteren çeşitli ağaç türlerine ilişkin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla olasılık yoğunluk fonksiyonlarının dikkate alındığı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda; Doğu kayını (Carus, 1996) ve karaçam (Sakıcı vd., 2016) meşcereleri için Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu ile başarılı tahminler elde edilmiştir. Sarıçam (Ercanlı ve Yavuz, 2010) ve Dişbudak (Yavuz vd., 2002) türlerine ilişkin çap dağılımlarının incelendiği çalışmalarda en başarılı olasılık yoğunluk fonksiyonu Weibull, karaçam (Carus ve Çatal, 2011) ve kızılçam (Carus ve Çatal, 2008) meşcereleri için ise Log-normal dağılımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, Doğu Ladini (Sönmez vd., 2015) için yapılan çalışmada Weibull, Johnson SB ve Beta dağılımları, Doğu Karadeniz göknarı (Sakıcı ve Gülsunar, 2012) için yapılan çalışmada ise Üstel ve Weibull dağılımları başarıları ile öne çıkmıştır. Kastamonu ve Sinop yöresi karaçam meşcereleri için gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer şekilde, Doğu kayını ve sarıçam (Kahriman ve Yavuz, 2011), kızılçam (Doğdaş, 2014; Özçelik vd., 2016), Doğu ladini (Ercanlı ve Yavuz, 2010; Sönmez vd., 2010) ve sarıçam (Sakıcı ve Dal, 2021) meşcerelerine ilişkin çap dağılımlarının modellendiği çalışmalarda Johnson SB olasılık yoğunluk fonksiyonu ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkemizde farklı ağaç türlerine ve meşcere kuruluşlarına ilişkin çap dağılımlarının modellenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonlarına ilişkin başarılı sonuçların elde edildiği görülmekle birlikte, çalışmaların birçoğunda Johnson SB fonksiyonunun başarılı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte, uluslararası literatürde de Von Gadow (1983), Kudus vd. (1999), Zhang vd. (2003), Siipilehto ve Siitonen (2004), Fonseca vd. (2009), Mateus ve Tomé (2011), Gorgoso-Varela ve Rojo-Alboreca (2014), Ogana vd. (2017) ve Pogoda vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalarda da Johnson SB fonksiyonunun çap dağılımına ilişkin tahminlerdeki başarısı ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında da gerek uluslararası ve gerekse ulusal literatürde tahmin başarısı açısından öne çıkan Johnson SB fonksiyonu başarılı bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Çalışma kapsamında, karaçam meşcerelerine ilişkin çap dağılımları beş farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu (Johnson SB, Weibull-2p, Gamma-2p, Weibull-3p ve Gamma-3p) ile modellenmiş ve parametre tahminleri yapılmıştır. e , KS , X^2 ve AD hata ölçütlerine göre karşılaştırılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarından Johnson SB fonksiyonu gerek tüm çalışma alanı için ve gerekse çalışma kapsamında dikkate alınan tüm ekoreyonlar için oldukça başarılı bulunmuştur.

Ülkemiz topografik özelliklerinden dolayı farklı iklim rejimlerine ve çeşitli ekolojik bölgelere sahiptir. Buna ek olarak, aynı ağaç türü çok farklı ekolojik özelliklere sahip bölgelerde yayılış gösterebilmektedir. Ağaçların ve meşcerelerin gelişimleri üzerinde önemli etkileri bulunan ekolojik faktörlerin planlama aşamasında göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Bu bağlamda, planlama için en önemli altlıklardan olan büyüme modelleri de söz konusu ekolojik farklılıklara bağlı olarak esnek tahminler yapabilme özelliğine sahip olmalıdır. Bu amaçlarla, ülkemizde önemli yayılış alanlarına sahip diğer aslı ağaç türleri için de ekoreyon tabanlı çap dağılım modelleri geliştirilmeli ve yapılacak olan planlama faaliyetlerinde bu modellerden yararlanılmalıdır.

Açıklama

Bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı altında Mehmet SEKİ tarafından Oytun Emre SAKICI danışmanlığında hazırlanmış olan doktora tezinden üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma Kastamonu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'nin KÜ-BAP03/2017-38 nolu BAP Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Atalay, İ., 2014. Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri. Genişletilmiş 2. Baskı, Meta Basım Matbaacılık, İzmir.
- Bailey, R.L., Dell, T.R., 1973. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19(2): 97-104.
- Bolat, F., Ercanlı, İ., 2017. Modeling diameter distributions by using Weibull function in forests located Kestel-Bursa. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 17(1): 107-115.
- Burkhardt, H.E., Tomé, M., 2012. *Modeling Forest Trees and Stands*. Springer, Dordrecht.
- Carus, S., 1996. Aynı yaşlı Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) meşcerelerinde çap dağılımının bonitet ve yaşa göre değişimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 46(2): 171-181.
- Carus, S., Çatal, Y., 2008. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde 7-ağaç örnek nokta yöntemiyle meşcere ağaç sayısının çap basamaklarına dağılımının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 9(2): 158-169.
- Carus, S., Çatal, Y., 2011. The alteration of diameter distribution by site quality and age in even aged Crimean pine (*Pinus nigra* Arnold) stands in southern Turkey. 4th International Conference on Mediterranean Pines, 6-10 June, Avignon, France, pp. 101-101.
- Çatal, Y., Güneş, S., 2016. Isparta yöresi kızılçam meşcerelerinde çap dağılımının örnek alan ağaç sayısına göre modellenmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 17(2): 166-173.
- Doğdaş, İ., 2014. Burdur-Ağlasun yöresi kızılçam ormanlarında meşcere ağaç sayısı, hacim ve hacim artımının çap basamaklarına dağılımının modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Ercanlı, İ., Yavuz, H., 2010. Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link)-Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) karışık meşcerelerinde çap dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları ile belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10(1): 68-83.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Kahriman, A., 2013. Comparing parameter recovery methods for diameter distribution models of Oriental spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) and Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) mixed stands located Trabzon and Giresun Forest Regional Directorate. *International Caucasian Forestry Symposium*, 24-26 October, Artvin, Turkey, pp. 119-126.
- Ercanlı, İ., Bolat, F., Kahriman, A., 2016. Vezirköprü-Sarıçiçek Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan meşcerelerin çap dağılımlarının 3 parametrelili Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonu ile modellenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 2(1-2): 13-24.
- Fonseca, T.F., Marques, C.P., Parresol, B.R., 2009. Describing Maritime pine diameter distributions with Johnson's S_B distribution using a new all-parameter recovery approach. *Forest Science*, 55(4): 367-373.
- Gadow, K.V., Hui, G., 1999. *Modeling Forest Development*. Springer, Dordrecht.
- Gorgoso, J.J., Álvarez González, J.G., Rojo, A., Grandas-Arias, J.A., 2007. Modelling diameter distributions of *Betula alba* L. stands in northwest Spain with the two-parameter Weibull function. *Forest Systems*, 16(2): 113-123.
- Gorgoso-Varela J.J., Rojo-Alboreca, A., 2014. A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's S_B functions to pedunculate oak (*Quercus robur*) and birch (*Betula pubescens*) stands in northwest Spain. *Forest Systems*, 23(3): 500-505.

- Huang, S., 1999. Ecoregion-based individual tree height-diameter models for lodgepole pine in Alberta. *Western Journal of Applied Forestry*, 14(4): 186-193.
- Huang, S., Price, D., Titus, S.J., 2000. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 129(1-3): 125-141.
- Johnson, N.L., 1949. System of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36(1-2): 149-176.
- Kahriman, A., Yavuz, H., 2011. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.)-Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) karışık meşcerelerinde çap dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonları ile belirlenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(2): 109-125.
- Kangas, A., Maltamo, M., 2000. Calibrating predicted diameter distribution with additional information. *Forest Science*, 46(3): 390-396.
- Kudus, K.A., Ahmad, M.I., Lapongan, J., 1999. Nonlinear regression approach to estimating Johnson S_B parameters for diameter data. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(3): 310-314.
- Lawless, J.F., 1982. *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. A John Wiley & Sons, New Jersey.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. *Forest Inventory*. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- Mateus, A., Tomé, M., 2011. Modelling the diameter distribution of *eucalyptus* plantations with Johnson's S_B probability density function: parameters recovery from a compatible system of equations to predict stand variables. *Annals of Forest Science*, 68: 325-335.
- Mathwave, 2015. *EasyFit 5.5 Professional edition*. www.mathwave.com.
- Nelson, T. C., 1964. Diameter distribution and growth of loblolly pine. *Forest Science*, 10(1): 105-114.
- Ogana, F.N., Itam, E.S., Osho, J. S.A., 2017. Modeling diameter distributions of *Gmelina arborea* plantation in Omo Forest Reserve, Nigeria with Johnson's S_B . *Journal of Sustainable Forestry*, 36(2): 121-133.
- OGM, 2022. *Ormançılık İstatistikleri*. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N., Kırış, R., 2014. Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 399-412.
- Özçelik, R., Fidalgo Fonseca, T.J., Parresol, B.R., Eler, Ü., 2016. Modeling the diameter distributions of Brutian pine stands using Johnson's S_B distribution. *Forest Science*, 62(6): 587-593.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P.M., Simon, V., 1995. Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2): 72-78.
- Pogoda, P., Ochał, W., Orzeł, S., 2020. Performance of Kernel estimator and Johnson S_B function for modeling diameter distribution of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) stands. *Forests*, 11(6): 634.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59(2): 243-252.
- Rennolls, K., Geary, D.N., Rollinson, T.J.D., 1985. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. *Forestry*, 58(1): 57-66.
- Reynolds, M.R., Burk, T.E., Huang, W.C., 1988. Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distribution models. *Forest Science*, 34(2): 373-399.
- Sahin, A., Ercanlı, I., 2023. An evaluation of various probability density functions for predicting diameter distributions in pure and mixed-species stands in Türkiye. *Forest systems*, 32(3): 2.
- Sakıcı, O.E., Dal, E., 2021. Kastamonu yöresi sarıçam meşcereleri için çap dağılımlarının modellenmesi ve çeşitli meşcere özellikleri ile ilişkilerinin belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(3): 1026-1041.
- Sakıcı, O.E., Gülsunar, M., 2012. Diameter distribution of Bornmullerian fir in mixed stands. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, Özel Sayı: 263-270.
- Sakıcı, O.E., Seki, M., Sağlam, F., Akyıldız, M.H., 2016. Modeling diameter distributions of black pine stands in Taşköprü region. *International Forestry Symposium*, 7-10 December, Kastamonu, Turkey, pp. 521-535.
- Schreuder, H.T., Swank, W.T., 1974. Coniferous stands characterized with the Weibull distribution. *Canadian Journal of Forest Research*, 4(4): 518-523.
- Seki, M., 2021. Diameter distribution of Calabrian pine stands in Madra, Western Turkey. *International Congress on Environment, Disaster and Forest*, 20-21 October, Adana, Turkey, pp. 76.
- Seki, M., 2022. Determination of relationships between stand variables and parameters of Weibull function for *Fagus orientalis* Lipsky stands. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 22(1): 68-77.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022a. Ecoregional variation of Crimean pine (*Pinus nigra* subspecies *pallasiana* [Lamb.] Holmboe) stand growth. *Forest Science*, 68(5-6): 452-463.
- Seki, M., Sakıcı, O.E., 2022b. Ecoregion-based height-diameter models for Crimean pine. *Journal of Forest Research*, 27(1): 36-44.
- Siipilehto, J., Siitonen, J., 2004. Degree of previous cutting in explaining the differences in diameter distributions between mature managed and natural Norway spruce forests. *Silva Fennica*, 38(4): 425-435.
- Sönmez, T., Günlü, A., Karahalil, U., Ercanlı, İ., Şahin, A., 2010. Saf Doğu ladini meşcerelerinde çap dağılımının modellenmesi. III. Ulusal Karadeniz Ormançılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 388-398.
- Sönmez, T., Karahalil, U., Günlü, A., Şahin, A., 2015. Aynı yaşlı ve saf Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) meşcerelerinde çap dağılımının bonitet ve yaş sınıfları için değerlendirilmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 15(1): 26-36.
- Şahin, A., 2023. Çap dağılımlarının yapay sinir ağları ile modellenmesinde farklı ağ yapılarının tahmin başarılarının karşılaştırılması: Bolu-Mengen Anadolu karaçamı meşcereleri örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 9(2): 61-69.
- Vanclay, J.K., 1994. *Modeling Forest Growth and Yield. Applications to Mixed Tropical Forests*. CAB International, Wallingford.
- Von Gadow, K., 1983. Fitting distributions in *Pinus patula* stands. *South African Forestry Journal*, 126(1): 20-29.
- Xu, W., 2004. Developing ecoregion-based height-diameter models and reference-age invariant polymorphic height and site index curves for black spruce and jack pine in manitoba. Master of Science Thesis, Department of Botany (University of Manitoba). Winnipeg, Manitoba.
- Yavuz, H., Gül, A.U., Mısır, N., Özçelik, R., Sakıcı, O.E., 2002. Meşcerelerde çap dağılımının düzenlenmesi ve bu dağılımlara ilişkin parametreler ile çeşitli meşcere öğeleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. *Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan, İstanbul, s. 203-212.
- Zhang, L., Packard, K.C., Liu, C., 2003. A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's S_B distributions to mixed spruce-fir stands in northeastern north America. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(7): 1340-1347.

Comparison of plant species diversity, site index, and mean tree ring width values of different altitudinal zones in Turkish pine stands

Serkan Özdemir^a , Oğuzhan Erfidan^{b,*} 

Abstract: Diversity and productivity have consistently been central topics in forestry research. With the advent of climate change, the need to better understand increasingly scarce natural resources has become critical for sustainable use. In this study, differences in alpha species diversity, site index, and tree-ring widths across three different altitudinal zones were analyzed. Additionally, the relationships between these parameters and environmental variables were analyzed. Initially, a normality test was applied to the data. Due to the failure to meet the normality assumption, non-parametric methods were preferred for data analysis. The Kruskal-Wallis test was applied to identify differences between groups. To determine the relationships of alpha species diversity, site index, and tree-ring width with environmental variables, Spearman correlation analysis was used, focusing on the Shannon and Simpson indices. Our results showed that Shannon and Simpson diversity differ across different altitudinal zones, while no differences were observed in terms of site index and annual ring growth. On the other hand, Bio1 and Bio12 were identified as the most influential variables on diversity. Additionally, there was a relatively low negative correlation between the site index and slope variable and between annual ring growth and the radiation index variable. The findings obtained from this study provided important insights for forestry management. In particular, understanding the effects of altitude-dependent abiotic factors on species diversity and tree ring growth will enable more accurate planning.

Keywords: Biodiversity, Kruskal-Wallis test, *Pinus brutia*, Productivity, Tree ring growth

Farklı yükselti zonlarındaki kızılçam meşcerelerinde bitki türü çeşitliliği, bonitet indeksi ve yıllık halka genişliği değerlerinin karşılaştırılması

Öz: Çeşitlilik ve verimlilik konuları ormancılık alanında daima trend olarak araştırmacıların odağında olmuştur. Özellikle iklim değişikliği ile beraber kıt kaynak niteliğinde olan doğal kaynakların daha iyi bir şekilde anlaşılmasına olan ihtiyaç sürdürülebilir kullanımın temelini oluşturmaktadır. Bu kapsamda çalışmada üç farklı yükselti zonunda alfa tür çeşitliliği, bonitet indeksi ve yıllık halka genişlikleri arasındaki farklar analiz edilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin çevresel değişkenler ile olan ilişkileri belirlenmiştir. Verilere ilk olarak normallik testi uygulanmıştır. Normallik varsayımının sağlanamamasından ötürü verilerin analiz edilmesinde non parametrik yöntemler tercih edilmiştir. Gruplar arasındaki farkların belirlenmesi için Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Shannon ve Simpson indekslerine yönelik hesaplanan alfa tür çeşitlilikleri, bonitet indeksi ve yıllık halka büyümesinin çevresel değişkenler ile ilişkilerinin belirlenebilmesi için Spearman korelasyon analizi kullanılmıştır. Sonuç olarak farklı yükselti zonlarında Shannon ve Simpson çeşitlilikleri bakımından fark tespit edilirken, bonitet indeksi ve yıllık halka büyümesi bakımından fark olmadığı görülmüştür. Diğer yandan çeşitlilikler üzerinde en etkili değişkenler olarak Bio1 ve Bio12 tespit edilmiştir. Ayrıca bonitet indeksi ile eğim değişkeni, yıllık halka büyümesi ile de radyasyon indeksi değişkeni arasında nispeten yüksek olmayan negatif korelasyon olduğu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen bulgular ormancılık yönetimi için önemli öngörüler sunmuştur. Özellikle, yüksekliğe bağlı abiyotik faktörlerin tür çeşitliliği ve yıllık halka büyümesi üzerindeki etkisinin anlaşılması daha doğru planlamaların yapılmasına olanak sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Biyolojik çeşitlilik, Kruskal-Wallis testi, *Pinus brutia*, Verimlilik, Yıllık halka büyümesi

1. Introduction

Climate change is one of the most important factors affecting ecosystems (Tekin et al., 2018; Acarer, 2024a). The anthropogenic acceleration of climate change over the last century has led to irreversible consequences for ecosystems (Özdemir et al., 2020). The consequences that we are forced to face often manifest themselves in the form of changes, restrictions or complete eradication of the distribution areas of plant and animal species.

In other words, climate change is known to have a direct impact on biodiversity (Mert and Acarer, 2018). This dominant behavior of climate change on species also affects the systems in which these species play an economic role (Acarer, 2024b). Primary forest tree species are particularly important in this respect. Primary forest trees perform many ecological and economic functions. Among them, the most widespread species in Türkiye is the Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.) (Özdemir et al., 2022; Özdemir and Çınar, 2023). The Turkish pine is found in the Aegean and Mediterranean regions, where the Mediterranean climate prevails, as well as

^a Isparta University of Applied Sciences, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Vocational School, Sütçüler, Isparta, Türkiye

^b Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Isparta, Türkiye

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): erfidanoguzhan@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 11.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 16.10.2024



Citation (Atıf): Özdemir, S., Erfidan, O., 2024. Comparison of plant species diversity, site index, and mean tree ring width values of different altitudinal zones in Turkish pine stands. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 423-429. DOI: [10.18182/tjf.1499253](https://doi.org/10.18182/tjf.1499253)

in the coastal areas of the western Black Sea region (Keten and Gülsoy, 2020). There are studies that show the potential distribution areas and potential production areas of the Turkish pine (Özdemir, 2022; Negiz et al., 2024). In these studies, it was stated that Turkish pine is distributed in wide areas in the Mediterranean and Aegean regions, is mostly the dominant species in stands where it is mixed with other species, and its productivity is relatively high in areas up to 1000 m above sea level. In some studies, it has been stated that dendrochronological findings can also reveal important findings regarding productivity (Lo et al., 2013; Salehnia and Ahn, 2022). However, dendrochronology studies on this species are limited. Among these, dendroclimatology studies that reveal the relationship between annual rings and climate are notably insufficient (Reis et al., 2018; Mehergui et al., 2021). These studies have particularly revealed a negative correlation between temperature increase and annual ring growth. As understood, climate change affects both species diversity and tree ring growth. On the other hand, the relationship between species diversity and tree ring growth should not be overlooked (Negiz et al., 2024). For this purpose, species diversity was calculated in the study and correlated with both environmental parameters and tree ring growth. In order to observe the indirect effects of climate change, sampling was carried out at three different altitudinal levels to determine whether there were statistically significant differences between the altitudinal groups.

Based on the information provided, within the scope of this study, the relationships between climatic parameters, diversity indices, and tree ring growth were determined and suggestions that could be useful for ecosystem-based multi-purpose planning studies were presented.

2. Material and method

2.1. Study area

The study was carried out in the Sütçüler district of Isparta province. Sütçüler is located in the Lake District of the Mediterranean Region. The study area covers approximately 128000 hectares, with altitudes ranging from 250 to 2500 meters. The total annual rainfall is 950 mm, and the average annual temperature is 12.1°C. The most common bedrock types are conglomerate, limestone, and sandstone, while the dominant forest tree species is Turkish pine (Özdemir et al., 2017; Baş et al., 2020).

2.2. Data collection and diversity estimation

Field studies were conducted in sample plots at three different altitudinal levels: below 750 meters (minimum elevation: 288 m), between 750 and 1250 meters, and above 1250 meters (maximum elevation: 1295 m). Data were collected for a total of 30 sample areas, each measuring 20 m x 20 m, with 10 different sample plots at each altitudinal zone. To avoid any variability due to aspect, only sample plots with a southern aspect were selected. The cover values of plant species in the sample plots were recorded according to the Braun-Blanquet scale. These values were then converted according to Westhoff and Maarel (1973) by assigning a value between 1 and 9 to each coverage area. Species diversity is determined through calculations performed for the alpha, beta, and gamma components. Alpha represents the diversity of sample areas, beta represents the dissimilarity between sample areas, and gamma represents the total diversity (Özdemir et al., 2017; Negiz and Aygül, 2019). In the present study Shannon-Wiener (H') (Shannon, 1948) and Simpson (D) (Simpson, 1949) alpha diversity values were calculated using the transformed values by BIÇEB software (Özkan et al., 2020).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2 \quad (2)$$

Where H' is the Shannon-Wiener diversity index (1), D is the Simpson diversity index (2), and p_i is the proportional values of species (Shannon, 1948; Simpson, 1949; Özdemir et al., 2017).

Following the vegetation sampling, two increment cores were taken from each plus tree at an angle of 90 degrees. We selected plus trees since these are less affected by silvicultural processes, are more resistant to diseases, are an indicator of growth and development, and represent the yield strength of the forest stand (Clark and Wilson, 2005; Özdemir and Çınar, 2023). The upper height values of plus trees may differ according to the age of the stands. After the increment cores were collected, they were digitized and compared to identify missing or incorrect rings. This eliminated the measurement errors.

The winDENDRO software was used to measure the increment cores. First, the increment cores were scanned with a high-resolution scanner, and the images were saved in "tif" format at 600 dpi. The images were then processed in the winDENDRO software to determine the width of the annual rings and the ages of the trees. The scanning image of one of the sampled trees core is presented in Figure 1.



Figure 1. Scanning image of tree ring widths.

Once the increment core samples had been scanned and imported into the software, the outermost part of the tree ring was initially marked, and the value for the year of measurement was assigned. Subsequently, each tree ring was precisely marked by zooming in on the automatically identified and marked tree rings by the software. The measured tree ring widths were saved in txt format and then transferred to MS Excel. By comparing the tree ring widths measured from two different angles for each tree, false and missing rings were identified. This process allowed for the determination of the average tree ring widths for the relevant tree using the validated data.

Using the calculated diameter at breast height and tree height values, the upper heights of the Turkish pines were indexed to 75 years (Kalıpsız, 1963), and site index values were also calculated. "Upper height" in the context of forestry, particularly in relation to site index calculations, typically refers to the dominant height of the tallest trees in a stand. It is often defined as the average height of the tallest trees (often the top 20% in height) in a particular area. These trees are usually not suppressed by competition and are used as indicators of the site's productivity (Kalıpsız, 1963).

After calculating the diversity indices, annual ring widths, and site index values, the topographic and climatic variables for the sample areas were created. The topographic variables included altitude, slope, radiation index (Radind), heat index (Heatind), and topographic position index (Topind). The climatic variables included the mean annual temperature (Bio1) and total annual precipitation (Bio12). Altitude map covering the study area was first downloaded from the EarthExplorer database (EarthExplorer, 2024) at 30 m resolution. Then slope and Topind maps were created using "3D Analyst" and "Topography" tools, respectively. The Radind variable was obtained using the "raster calculator" tool based on the approach proposed by Roberts and Cooper (1989), while Heating was derived according to the method suggested by Geiger (1966). Bio1 and Bio12 variables were downloaded from WorldClim database at 30 arc second (~1

km) resolution (Fick and Hijmans, 2017). After all the variables were created, they were all imported into the ArcMap program. Finally, the "Extract Multi Values to Point" tool was used to assign the corresponding values to the attribute table of each variable.

2.3. Statistical analysis

As the normality assumption was not met, the Kruskal-Wallis method, a non-parametric approach, was used to examine the differences in diversity, productivity and tree ring width between the different altitudinal zones. Subsequently, Spearman correlation analysis was applied to identify the relationships between environmental variables, site index, tree ring growth, and diversity values. All statistical analyses were carried out using the R programming language (R Core Team, 2024).

3. Results and discussion

3.1. Results of diversity calculations

Simpson and Shannon-Wiener diversity indices were calculated based on coverage area values (Table 1).

As seen in Table 1, alpha diversities were calculated using the coverage area values of a total of 30 samples. Diversity values for Shannon range from 1.672 to 3.096, with an average value of 2.268. For Simpson, diversity values range from 0.803 to 0.95, with an average value of 0.886.

3.2. Results of tree ring widths, site index and diversity indices

Tree ring widths calculated in WinDendro software and site index values calculated according to Kalıpsız (1963) are given in Table 2. According to these results, average tree ring widths vary between 0.9805 and 4.5669, and site index values vary between 11 and 28.5455.

Table 1. Alpha diversity values calculated for sample plots (sp)

sp	Simpson	Shannon	sp	Simpson	Shannon	sp	Simpson	Shannon
sp1	0.8034	1.672	sp11	0.9487	3.096	sp21	0.9047	2.338
sp2	0.8230	1.756	sp12	0.9391	2.814	sp22	0.9047	2.338
sp3	0.8360	1.798	sp13	0.9391	2.814	sp23	0.8840	2.282
sp4	0.8555	1.983	sp14	0.8796	2.221	sp24	0.8796	2.149
sp5	0.8810	2.102	sp15	0.8796	2.221	sp25	0.9071	2.342
sp6	0.8796	2.149	sp16	0.8473	1.903	sp26	0.9071	2.342
sp7	0.8796	2.149	sp17	0.8731	2.083	sp27	0.9355	2.835
sp8	0.8796	2.149	sp18	0.8704	2.141	sp28	0.8793	2.235
sp9	0.8522	1.931	sp19	0.8704	2.141	sp29	0.9281	2.622
sp10	0.9501	2.918	sp20	0.8930	2.360	sp30	0.8796	2.149

Table 2. Mean tree ring widths

Tree	Mean tree ring	Site index value	Tree	Mean tree ring	Site index value	Tree	Mean tree ring	Site index value
Tree1	1.7037	15.3103	Tree11	1.7034	12.8571	Tree21	2.4740	16.9333
Tree2	2.7465	15.8261	Tree12	1.3505	11.2727	Tree22	2.4740	16.9333
Tree3	1.2309	14.9655	Tree13	1.3505	11.2727	Tree23	2.2642	14.7619
Tree4	2.3697	15.5200	Tree14	2.3592	15.6842	Tree24	2.6867	19.4286
Tree5	2.6454	11.0000	Tree15	2.3592	15.6842	Tree25	4.3557	28.5455
Tree6	2.5642	17.5200	Tree16	2.8895	19.1667	Tree26	4.3557	28.5455
Tree7	1.2978	11.8182	Tree17	3.2072	16.6667	Tree27	3.3147	17.3846
Tree8	2.7312	16.6923	Tree18	1.8394	14.2963	Tree28	1.7813	13.2727
Tree9	3.8879	20.3636	Tree19	1.8394	14.2963	Tree29	4.5669	17.5000
Tree10	0.9805	14.9333	Tree20	2.0045	14.5455	Tree30	2.8472	20.8889

3.3. Environmental variables

Environmental variable values corresponding to each sample area are given in Table 3. In addition, the minimum, maximum and average values of each variable are presented at the bottom of the table.

3.4. Statistical analysis

The Shapiro-Wilk normality test was used to select the appropriate method for correlating the data, and it was found that the assumption of normality was not met ($p < 0.05$). Therefore, a logarithmic transformation was applied to the data and the normality test was repeated. However, even after

this transformation, the assumption of normality was still not met ($p < 0.05$). Therefore, non-parametric methods were chosen for the statistical analyses. The Kruskal-Wallis test was used to determine whether there were statistically significant differences in diversity, site index, and mean tree ring widths among the three different altitudinal levels. The results of the analyses regarding diversity, site index, and mean tree ring widths across the altitudinal zones are presented in Table 4.

As can be seen in Table 4, there are significant differences between the altitudinal zones in terms of both the Shannon and Simpson diversity index values. However, no differences were found for mean tree ring widths and site index values.

Table 3. Values of environmental variables of sample plots

	Altitude	Slope	Radind	Sicind	Topind	Bio1	Bio12
sp1	1287	17	0.5764	0.8311	-102.1870	11.180	1397.30
sp2	1271	14	0.5427	0.8233	-123.7030	11.180	1397.30
sp3	1292	15	0.3283	0.7933	-101.5360	11.180	1397.30
sp4	1271	14	0.5427	0.8233	-123.7030	11.180	1397.30
sp5	1041	18	0.2213	0.8132	-170.2890	11.994	1103.90
sp6	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.40
sp7	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.40
sp8	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.40
sp9	934	7	0.4373	0.8249	-58.1422	13.147	1323.90
sp10	1049	3	0.5995	0.8143	41.1475	12.521	1019.20
sp11	1051	2	0.1076	0.8068	51.8647	12.521	1019.20
sp12	346	12	0.9574	0.8580	-293.2570	17.384	1001.29
sp13	346	12	0.9574	0.8580	-293.2570	17.384	1001.29
sp14	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.40
sp15	288	8	0.9146	0.8409	-259.8020	17.492	1009.53
sp16	943	10	0.5698	0.8401	-60.8881	13.147	1323.90
sp17	943	10	0.5698	0.8401	-60.8881	13.147	1323.90
sp18	305	15	0.9137	0.8669	-250.2300	17.492	1009.53
sp19	305	15	0.9137	0.8669	-250.2300	17.492	1009.53
sp20	878	17	0.9984	0.8685	-19.2936	13.702	875.969
sp21	602	13	0.6696	0.8550	-88.9392	16.184	1113.240
sp22	602	13	0.6696	0.8550	-88.9392	16.184	1113.240
sp23	867	9	0.9640	0.8406	-28.0330	13.702	875.969
sp24	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.400
sp25	648	10	0.0294	0.7659	-83.4317	15.298	1010.190
sp26	648	10	0.0294	0.7659	-83.4317	15.298	1010.190
sp27	930	17	0.8624	0.8765	-203.3940	12.906	1035.090
sp28	960	21	0.4062	0.8502	-95.4103	13.108	1134.970
sp29	678	13	0.4233	0.8079	-117.2230	14.895	944.150
sp30	1295	3	0.9665	0.8199	26.0354	11.269	1123.400
Minimum	288	2	0.0294	0.7659	-293.2570	11.180	875.969
Maximum	1295	21	0.9984	0.8765	51.8647	17.492	1397.300
Mean	908.5	10.433	0.6667	0.8302	-90.2327	13.577	1119.592

Table 4. Kruskal-Wallis test results

	Chi-squared	p value
Shannon	7.8521	0.0197
Simpson	7.3785	0.0249
Mean tree ring	0.2177	0.8969
Site index	0.9811	0.6123

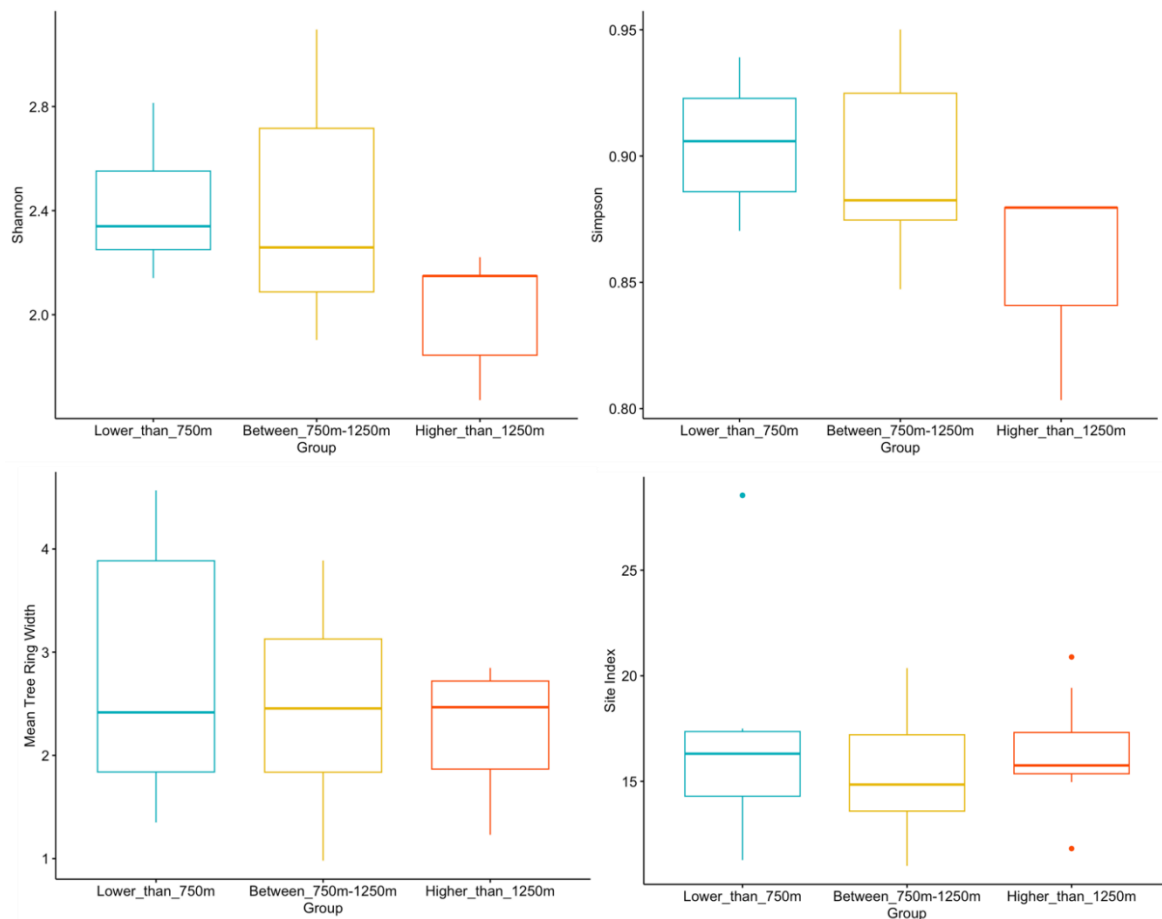


Figure 2. Results of the box plots for the Kruskal-Wallis test

According to Figure 2, it is evident that the Shannon and Simpson diversity values for sample areas corresponding to altitudinal zones above 1250 meters significantly differ from those of the other groups. However, it is clear that there is no difference in terms of mean tree ring widths and site index values.

There are several studies conducted on different species that show the variation in tree ring growth with elevation. For instance, Villalba et al. (1997) in their study on *Nothofagus pumilio* (Poepp. & Endl.) Krasser in Argentina, similar to our study, tree ring widths were examined across three different elevation zones. The study also suggested that the variation in mean tree ring width is primarily related to changes in temperature and precipitation during the spring and summer months. Furthermore, it also noted that the response to climate change could be influenced by local elevation differences. This was attributed to local conditions, such as topographic position and forest structure, which affect snow accumulation and persistence. In the study by Klippel et al. (2017), it was found that there could be differences related to elevation, and aspect could also make a significant difference. In our study, to isolate the effect of elevation more purely, sampling was conducted only from south-facing areas, avoiding any differences due to aspect. It was also found that there was no statistically significant difference between the elevation zones in terms of site index values.

Spearman correlation analysis was used to determine the relationships between diversity, site index, and tree ring widths with environmental variables.

As can be seen from the correlation analysis results (Figure 3), the Shannon and Simpson diversity index values have a positive relationship with Bio1 ($p < 0.05$) and a negative relationship with Bio12 ($p < 0.001$). Similar results regarding the relationship between elevation-dependent climate parameters and diversity were obtained by Moradi et al. (2020) that conducted to determine which function describes Species–area relationships (SARs) at different elevations and explored how variations in environmental characteristics influence SAR shape in Alborz Mountains (Iran). In their study, the researchers found a negative relationship between elevation and species richness. In our study, the negative and strong relationship between the Bio1 variable and elevation is consistent with the results of the aforementioned study. McCain and Grytnes (2010) also showed how elevation-dependent abiotic factors influence flora and fauna diversities. In their research, they identified four main trends in species richness with elevation: decreasing richness with increasing elevation, plateaus in richness at low elevations then decreasing with or without a mid-elevation peak and a unimodal pattern with a mid-elevational peak.

Tree ring growth was found to be highly correlated with the site index. It is well known that tree ring growth of species in productive areas is quite good (Taylor, 1981; Lopatin et al., 2006; Gea-Izquierdo et al., 2014). No other statistically significant variables were identified apart from mean tree ring width and site index, but there was a relatively high negative relationship with the variables Radind and Heatind.

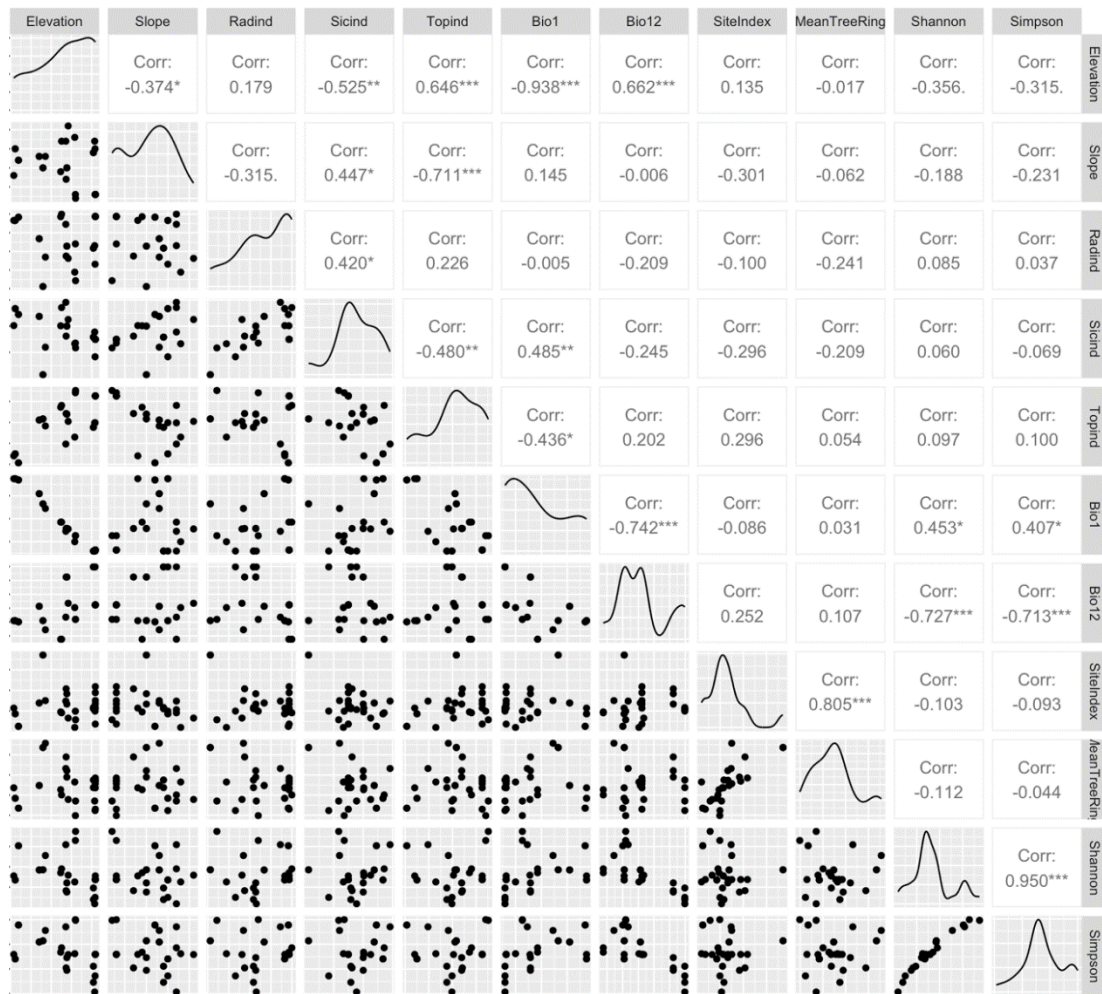


Figure 3. Spearman correlation analysis results

4. Conclusions

There was a significant relationship between altitude-dependent abiotic factors, such as Bio1 (annual mean temperature) and Bio12 (annual precipitation), and species diversity. However, in areas where the altitudinal range for Turkish pine is narrow, altitude alone may not cause significant differences in site index or tree-ring width unless the aspect is considered. In such cases, aspect could play a crucial role in influencing site index and tree growth.

For future planning, it is important to note that examining tree-ring growth and productivity across different aspect groups, within the same altitudinal range, may yield valuable insights. This could be particularly useful for predicting site productivity and understanding the spatial variation in growth patterns. For example, we expect that variations in temperature, summer drought intensity, and winter precipitation, as influenced by aspect at higher altitudes, may result in substantial differences in annual ring width and overall growth rates of Turkish pine.

Turkish pine, being a dominant species in Mediterranean ecosystems, is essential for forest management. Therefore, incorporating both site index data and detailed information on species diversity and average tree-ring growth in Turkish pine habitats will enhance ecosystem-based, multiple-use

forest management planning. Specifically, this information can guide silvicultural interventions by targeting aspects with higher productivity potential and by adapting management strategies to mitigate the effects of temperature fluctuations and drought on tree growth.

References

- Acarer, A., 2024a. Role of climate change on Oriental spruce (*Picea orientalis* L.): Modeling and mapping. *BioResources*, 19(2): 3845.
- Acarer, A., 2024b. Will cinereous vulture (*Aegypius monachus* L.) become extinct in the forests of Türkiye in the future. *Şumarski list*, 148(7-8): 375-387.
- Baş, M., Şenol, A., Gülsoy, S., Özkan, K., 2020. Relationships between plant species diversity of black pine forests and site factors in the Sütçüler district of Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3): 264-273.
- Clark, J., Wilson, T., 2005. The importance of plus-tree selection in the improvement of hardwoods. *Quarterly Journal of Forestry*, 99(1): 45-50.
- EarthExplorer, 2024. ASTER Digital Elevation Model V003, https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=C1299783579-LPDAAC_ECS, Accessed: 13.01.2024.
- Fick, S.E., Hijmans, R.J., 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12): 4302-4315.

- Gea-Izquierdo, G., Bergeron, Y., Huang, J., Lapointe-Garant, M.P., Grace, J., Berninger, F., 2014. The relationship between productivity and tree-ring growth in boreal coniferous forests. *Boreal Environment Research*, 19(5-6): 363-378.
- Geiger, R., 1966. *The Climate Near The Ground*. Harvard University, Press, Cambridge, MA.
- Kalpısz, A., 1963. Studies on the Natural Structure and Yielding Power of Black Pine (*Pinus nigra* Arnold) Reservoirs in Turkey. T. C. Ministry of Agriculture General Directorate of Forestry Publications, Istanbul.
- Keten, İ., Gülsoy, S., 2020. Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) ormanlarında verimlilik ilişkileri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2): 88-102.
- Klippel, L., Krusic, P. J., Brandes, R., Hartl-Meier, C., Trouet, V., Meko, M., Esper, J., 2017. High-elevation inter-site differences in Mount Smolikas tree-ring width data. *Dendrochronologia*, 44: 164-173.
- Lo, Y. H., Blanco, J. A., Seely, B., Kimmins, J. H., Welham, C., 2013. Testing of a tree productivity-climate model with dendrochronological data. In: *Network Biology: Theories, Methods and Applications* (Ed: Zhang, W.), Nova Science Publishers, New York, pp. 141-162.
- Lopatin, E., Kolström, T., Spiecker, H., 2006. Determination of forest growth trends in Komi Republic (Northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data. *Boreal Environment Research*, 11(5): 341.
- McCain, C.M., Grytnes, J.A., 2010. Elevational gradients in species richness. In: *Encyclopedia of Life Sciences (ELS)* (Ed: Wiley, J. & Sons, Ltd), Chichester, pp. 1-10.
- Mehergui, K., Saleh Altamimi, A., Jaouadi, W., Naghmouchi, S., 2021. Climate change impacts on spatial distribution, tree-ring growth, and water use of stone pine (*Pinus pinea* L.) forests in the Mediterranean region and silvicultural practices to limit those impacts. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 14(2): 104.
- Mert, A., Acarer, A., 2018. Wildlife diversity in reed beds around Beyşehir lake. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(1): 110-119.
- Moradi, H., Fattorini, S., Oldeland, J., 2020. Influence of elevation on the species-area relationship. *Journal of Biogeography*, 47(9): 2029-2041.
- Negiz, M.G., Aygöl, T.İ., 2019. Distribution of woody species richness in Kurucuova Region according to environmental factors. *Turkish Journal of Forestry*, 20(2): 123-132.
- Negiz, M.G., Özdemir, S., Erfidan, O., Çıvğa, A., Şentürk, Ö., 2024. Determination of relations between plant species diversity and productivity in Brutian pine stands. *Turkish Journal of Forestry*, 25(1): 49-55.
- Özdemir, S., Özkan, K., Mert, A., 2020. An ecological perspective on climate change scenarios. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3): 361-371.
- Özdemir, S., Küçükşille, E.U., Gülsoy, S., Şentürk, Ö., Negiz, M. G., Süel, H., Mert, A., Özkan, K., 2022. Modeling of species distributions with deep learning method. *Sixth International Conference on Computational Mathematics and Engineering Sciences (CMES)*, 20-22 May, Ordu, Turkey, pp. 180-190.
- Özdemir, S., Negiz, M. G., Turhan, U. U., Şenol, A., Arslan, M., 2017. Indicator plant species of alpha diversity in Kuyucak Mountain district. *Turkish Journal of Forestry*, 18(2): 102-109.
- Özdemir, S., 2022. *Distribution Modeling of The Main Forest Tree Species Under Climate Change in West Mediterranean*. PhD Dissertation, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye.
- Özdemir, S., Çınar, T., 2023. Determining indicator plant species of *Pinus brutia* Ten. using interspecific correlation analysis in Antalya (Turkey). *Cerne*, 29(1): 103-188.
- Özkan, K., Küçükşille, E., Mert, A., Gülsoy, S., Süel, H., Başar, M., 2020. Biyolojik çeşitlilik bileşenleri (BİÇEB) hesaplama yazılımı. *Turkish Journal of Forestry*, 21(3): 344-348.
- R Core Team, 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reis, M., Dotal, H., Abız, B., Tat, S., Reis, A., 2018. Impacts of climate change on annual diameter increment of natural Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) forests in Kahramanmaraş. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3): 219-225.
- Roberts, D.W., Cooper, S.V., 1989. Concepts and techniques of vegetation mapping. In: *Land Classifications Based on Vegetation: Applications for Resource Management*. USDA Forest Service General Technical Report INT-257, 90-96, Ogden, UT.
- Salehnia, N., Ahn, J., 2022. Modelling and reconstructing tree ring growth index with climate variables through artificial intelligence and statistical methods. *Ecological Indicators*, 134: 108496.
- Shannon, C.E., 1948. *A Mathematical Theory of Communication*. The Bell System Technical Journal, 27: 379-423.
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163: 688.
- Taylor, R. M., 1981. Tree-ring analysis in forest productivity studies: an investigation of growth-climate relationships in the New Forest, Hampshire. *Journal of Biogeography*, 8(4): 293-312.
- Tekin, S., Yalçınkaya, B., Acarer, A., Mert, A., 2018. Yaban hayatında uydu verilerinin kullanım olanakları üzerine bir çalışma: MaxEnt ile Karaca (*Capreolus capreolus* L.)'nın habitat uygunluk modellemesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2): 147-156.
- Villalba, R., Boninsegna, J. A., Veblen, T. T., Schmelzer, A., Rubulis, S., 1997. Recent trends in tree-ring records from high elevation sites in the Andes of northern Patagonia. *Climatic Change*, 36(3): 425-454.
- Westhoff, V., Van Der Maarel, E., 1973. The Braun-Blanquet approach. In: *Ordination and Classification of Communities* (Ed: Whittaker, R.H.), Dordrecht, pp. 617-626.

Volume equations for Scots pine trees in Kastamonu region

Dilara Nur Zaifoğlu^a, Fadime Sağlam^{a,*}

Abstract: The objective of this study is to develop tree volume equations for Scots pine trees in the Kastamonu region and to compare the prediction capability of these equations with existing tree volume equations. For this purpose, stump diameter, diameter at breast height, diameters in each meter up to the top of the tree, and tree height measurements were measured on 127 sample trees from the Kastamonu Forest Enterprise in the Kastamonu Regional Directorate of Forestry. Subsequently, tree volumes were calculated based on these measurements and using the sectional method. This method entailed volumizing the trees in three sections: the stump section, the top section and the one-meter sections between the stump and the top sections. To develop single- and double-entry tree volume equations, the parameters of eight volume equations were estimated. Four statistical criteria were employed to identify the best predictive models. The coefficients of determination for the best predictive single- and double-entry models were found to be 0.972 and 0.975, respectively. Additionally, the results of these models were compared with the volume predictions derived from four models presented in the literature. The results of this study will enhance the accuracy of tree volume estimation for Scots pine stands in the Kastamonu region.

Keywords: *Pinus sylvestris* L., Tree volume tables, Kastamonu

Kastamonu yöresi sarıçam ağaç türü için ağaç hacim denklemleri

Öz: Bu çalışmanın amacı, Kastamonu bölgesindeki sarıçam ağaçları için ağaç hacim denklemleri geliştirmek ve bu denklemlerin tahminlerini mevcut ağaç hacim denklemleri ile karşılaştırmaktır. Bu amaçla Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Kastamonu Orman İşletme Müdürlüğü'nden alınan 127 örnek ağaç üzerinde dip kütük çapı, göğüs yüksekliği çapı, göğüs çapından itibaren ağacın tepesine kadar 1'er metre aralıklarla gövde çapları ve ağaç boyu ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra bu ölçümler kullanılarak ağaç hacim değerleri hesaplanmıştır. Tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amacıyla sekiz adet (4'er adet tek ve çift girişli) denkleme ilişkin parametreler tahmin edilmiştir. En başarılı olan denklemlerin seçilmesinde dört adet istatistiksel ölçüt kullanılmıştır. En başarılı tek ve çift girişli denklemlere ilişkin belirleme katsayıları sırasıyla 0,972 ve 0,975'tir. Aynı zamanda model sonuçları literatürde yer alan dört adet denkleme ilişkin hacim tahminleri ile de karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın bulguları, Kastamonu yöresi sarıçam meşcerelerinde ağaç hacimlerinin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: *Pinus sylvestris* L., Ağaç hacim tabloları, Kastamonu

1. Introduction

In order to prepare ecosystem-based functional management plans and to manage and operate forests sustainably according to these plans, dynamic growth and yield models for each tree species are needed. One of the most fundamental foundations for growth and yield models is the estimation of individual tree and stand volumes. Volume estimates are important stand parameter used to determine individual tree and stand volumes and the distribution of these values to commercial classes, to prepare forest management plans, and to estimate the amount of biomass and carbon storage by using appropriate biomass conversion factors (Diegues-Aranda et al., 2006; de-Miguel et al., 2012; Castedo-Dorado et al., 2012; Rodríguez et al., 2014). Therefore, there is a need for flexible, practical and reliable volume estimation methods that are compatible with growth models and allow reliable estimation of individual tree and stand volumes in forestry (de-Miguel et al., 2012). Various methods and approaches have been developed to estimate the volumes of trees. The

main reason for this is that tree stems do not resemble existing geometric shapes such as cylinders, paraboloids, cones and neiloids, and therefore it is not possible to calculate the volume of the tree directly using geometric formulae or standard methods (Kalıpsız, 1984; Yavuz, 1999).

For a considerable period of time, tree volume equations and tree volume tables utilizing these equations have been the most popular techniques for estimating the volume of standing stems. This is due to the practicality of these methods compared to other tree volume calculation methods (Kalıpsız, 1984). Depending on the number of independent variables used, single-entry (based on diameter at breast height only), double-entry (based on diameter at breast height and tree height) or multiple-entry (a third or more independent variables in addition to diameter at breast height and tree height) tree volume equations are generally used to organize tree volume tables (Burkhart and Tome, 2012). In the studies carried out for the development of tree volume equations, it is seen that a large number and different forms of models are used. Nevertheless, it seems

✉ ^a Kastamonu University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, 37150, Kastamonu, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): fsaglam@kastamonu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 21.08.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.10.2024



Citation (Atfı): Zaifoğlu, D.N., Sağlam, F., 2024. Volume equations for Scots pine trees in Kastamonu region. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 430-436.
DOI: [10.18182/tjf.1536521](https://doi.org/10.18182/tjf.1536521)

unlikely that these volume tables will be able to meet the evolving commercial standards (Özçelik et al., 2018). For this reason, studies on volume estimation are likely to continue.

The fact that the tree species in Türkiye continue to exist in very wide distribution areas and that the growing environmental conditions in these areas vary considerably over short distances makes it necessary to organize tree volume equations or tables locally. Nevertheless, there are limited locally developed tree volume equations, tree volume tables, and stem profile models for our primary tree species with significant economic and ecological benefits, as well as for other tree species (Özçelik et al., 2018). Wiant et al. (1992) and Ducey and Williams (2011) demonstrated in their studies that errors resulting from the inappropriate use of a volume equation or volume table for volume estimation could exceed 30%. Pillsbury et al. (1995) indicated in their study that using a volume table across different ecoregions with varying site characteristics could result in volume estimation errors reaching up to 40%. Therefore, it is emphasized that, to the extent possible, it is crucial to develop tree volume equations that are sensitive to regional variations for each tree species and to organize tree volume tables accordingly (Brooks and Wiant, 2008).

The Scots pine is one of the most economically and ecologically valuable tree species in Türkiye. It forms extensive forests, both in pure stands and in combination with other species. Additionally, Scots pine wood has a broad range of valuable applications. Furthermore, the capacity of the tree to produce well-formed and tall stems increases the potential for utilizing its wood, thereby elevating the Scots pine species to a significant level in the national economy (Alemdağ, 1967).

Examining studies related to Scots pine tree volume estimation covering the relevant region, it is observed that Alemdağ (1967), Pehlivan (2010), and Şenyurt (2011) developed tree volume equations and organized tree volume tables for Scots pine stands. Yavuz et al. (2010) developed tree volume equations for pure and mixed Scots pine stands in the Black Sea Region. Additionally, a stem taper equation for Scots pine was developed by Yavuz (1995) for the Taşköprü Forest Enterprise and by Seki (2023) for Küre, Taşköprü and Yenice Forest Enterprises. There are also ecoregion-based models developed for Scots pine stands in the relevant region (Sağlam and Sakıcı, 2024a; 2024b). In addition, volume equations and tables for both single- and double-entry tree species have been developed for various tree species in Türkiye (Eraslan, 1954; Gülen, 1959; Alemdağ, 1962; Evcimen, 1963; Alemdağ, 1967; Asan, 1984; Çalışkan and Yeşil, 1996; Bozkuş and Carus, 1997; Sakıcı and Yavuz, 2003; Mısır and Mısır, 2004; Durkaya and Durkaya, 2006; Özçelik, 2010; Carus et al., 2016; Özçelik and Karaer, 2016; Kahriman et al., 2017; Özçelik

and Çevlik, 2017; Sakıcı et al., 2018; Şahin et al., 2018; Şenyurt and Ümit, 2019; Özçankaya et al., 2021; Ölmez and Şenyurt, 2022; Baytaş and Seki, 2023; Sönmez et al., 2023; Şahin and Ercanlı, 2023).

This study aims to achieve accurate and reliable tree stem volume predictions for Scots pine, thereby ensuring low inventory costs (with fewer variable measurements) in making these predictions. In order to achieve this, single- and double-entry tree volume equations have been developed that facilitate the practical calculation of both individual tree and stand volumes. These results were then compared with those obtained from tree volume equations in the literature. Accordingly, an effort was made to identify the model that provides the most satisfactory volume predictions for Scots pine stands in the Kastamonu region.

2. Material and method

In the scope of the study, sample trees data were obtained from natural Scots pine stands in the Kastamonu Forest Enterprise in the Kastamonu Regional Directorate of Forestry (Figure 1). In this study, measurements were conducted on 127 sample trees. The sample trees were tried to be selected for measurements to represent a range of diameter and height classes. Furthermore, during the selection of these sample trees, particular attention was paid to ensure that the stems were as well-formed as possible and that the trees were healthy individuals.

The diameter at breast height ($d_{1.30}$, cm) of the sample trees was measured with an accuracy of 0.1 cm using a caliper while the trees were standing. Sample trees were felled from the stump height (0.3 m), the stump diameter was recorded, and the other stem diameters over bark were measured at 1.3, 2.3, 3.3 m and then at 1-meter intervals up to the tree's top. The height of the tree (h) was measured with a tape measure to an accuracy of 0.05 m.

The stem volumes of the sample trees were calculated using the sectional method. In this method, trees were considered into three sections for the purpose of calculating volume. These sections are: (i) the stump section, (ii) the one-meter sections situated between the stump and the top section, and (iii) the top section. The volumes of these sections were calculated separately, with the assumption that the stump section was to be cylindrical, and the top section was to be conical. The volumes of the one-meter sections were calculated using the Smalian equation. The total stem volume (V , m³) was calculated by summing the volumes of the three stem sections. A total of 127 sample tree data were divided into two groups: a "model dataset" for the development of tree volume equations and a "control dataset" for the validation of the developed tree volume equations (Figure 2). Descriptive statistics for the model, control and total data were presented in Table 1.

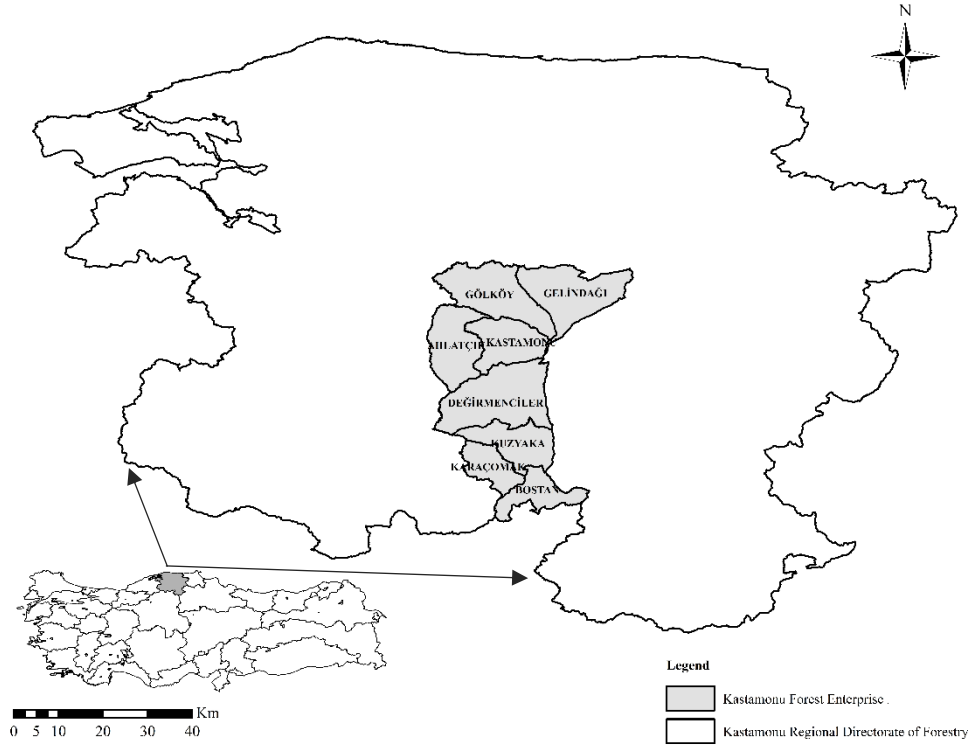


Figure 1. Study area

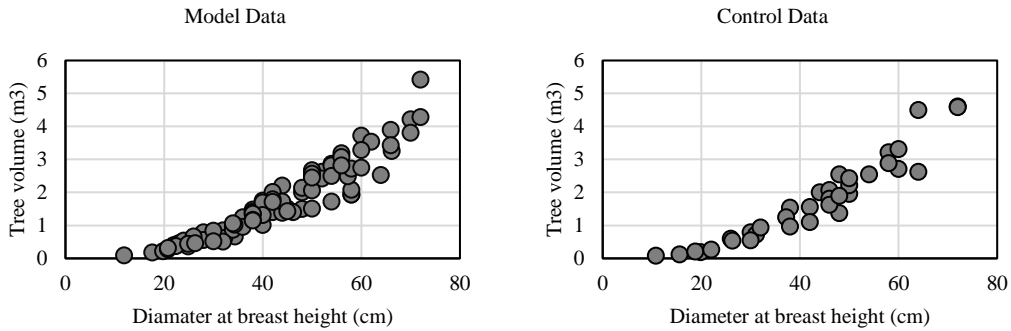


Figure 2. Relationship of tree volume-diameter at breast height for model and control data

Table 1. Descriptive statistics for sample trees

Data	Variables	n	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
Model Data	$d_{1.30}$, cm	92	11.90	72.00	42.89	13.86
	h , m		8.90	30.00	20.95	4.12
	V , m ³		0.09	5.42	1.72	1.10
Control Data	$d_{1.30}$, cm	35	10.80	72.00	42.79	15.87
	h , m		8.00	29.60	20.01	5.41
	V , m ³		0.08	4.61	1.78	1.26
Total Data	$d_{1.30}$, cm	127	10.80	72.00	42.86	14.38
	h , m		8.00	30.00	20.69	4.51
	V , m ³		0.08	5.42	1.74	1.14

For the purpose of model development, commonly used tree volume equations from the literature were selected. Additionally, new variables were derived from independent variables such as diameter and height, and models were developed that provide successful volume predictions using stepwise regression analysis. The eight models for which parameter estimates were obtained are presented below.

- $V = b_0 d^{b_1}$ (1)
- $V = b_1 d^2$ (2)
- $V = b_0 \ln d^{b_1}$ (3)
- $V = e^{b_0 + \frac{b_1}{\ln d}}$ (4)
- $V = b_1 d^2 h$ (5)
- $V = b_0 (d^2 h)^{b_1}$ (6)
- $V = b_0 * d^{b_1} h^{b_2}$ (7)
- $V = b_1 d^2 + b_2 d^2 h$ (8)

Where, V is tree volume (m^3), d is diameter at breast height (cm), h is tree height (m) and b_0 , b_1 and b_2 are model parameters.

Four statistical criteria, listed below, were used to select the best predictive model among the developed models. Model predictions were ranked based on coefficient of determination (R^2), root mean square error ($RMSE$), mean error (ME) and mean absolute error (MAE). To facilitate this ranking, the relative ranking method proposed by Poudel and Cao (2013) was employed. The relative rankings of the tree volume equations were calculated separately for each statistical criterion, and the calculated rankings were summed to determine the total relative ranking and overall ranking values for the equations.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)^2}{\sum(V_i - \bar{V})^2} \tag{9}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)^2}{n-p}} \tag{10}$$

$$ME = \frac{\sum(V_i - \hat{V}_i)}{n} \tag{11}$$

$$MAE = \frac{\sum|V_i - \hat{V}_i|}{n} \tag{12}$$

Where, V_i , \hat{V}_i , \bar{V} are observed, predicted and mean values of dependent variable, respectively, p is parameter numbers of model and n is observations numbers.

The applicability of the developed models for Scots pine stands in the Kastamonu region was evaluated through a paired sample t -test, utilizing tree volumes from a control dataset comprising 35 sample trees. The IBM SPSS Statistics 23 software was used for the statistical analyses.

3. Results and discussion

In the scope of the study, parameters for eight tree volume equations (four single-entry and four double-entry) have been estimated and presented in Table 2. All parameters related to the single- and double-entry tree volume equations are statistically significant ($p < 0.05$). The models include diameter at breast height and tree height as independent variables, along with various derived variables based on these factors.

In order to identify the best predictive model from the single- and double-entry tree volume equations, four statistical criteria were employed. The statistical criteria and their relative rankings for the evaluated models were presented in Table 3. Upon examining Table 3, it was observed that Model 2 from the single-entry tree volume equations and Model 8 from the double-entry tree volume equations demonstrated the highest degree of success, as reflected in their relative rankings.

The applicability of the developed tree volume equations for the Scots pine stands in the Kastamonu region was evaluated using the observed volumes of 35 trees designated for model validation. For this purpose, a paired sample t -test was employed for the purpose of comparing the observed volumes of the control trees with the estimated volumes obtained from the models. The results of the paired sample t -test for the volume models were presented in Table 4. Upon examining the results of the paired sample t -test, it is observed that there is no statistically significant difference between the observed and the predicted volumes derived from the models.

Table 2. Parameters for eight models

Model No	R^2	p	b_0	b_1	b_2
Model 1	0.941	<0.001	0.000486***	2.140650***	
Model 2	0.972	<0.001		0.000846***	
Model 3	0.943	<0.001	0.000071***	7.556752***	
Model 4	0.941	<0.001	-7.628427***	2.140650***	
Model 5	0.967	<0.001		0.000038***	
Model 6	0.952	<0.001	0.000124***	0.891663***	
Model 7	0.912	<0.001	0.000331*	1.949946***	0.369416**
Model 8	0.975	<0.001		0.000534***	0.000014**

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$ and * $p < 0.05$

Table 3. Relative ranking for volume models

Models	R^2	$RMSE$	ME	MAE	Total	General Ranking
Model 1	0.941 (4.00)	0.353 (4.00)	0.011 (2.23)	0.258 (4.00)	14.23	4.00
Model 2	0.972 (1.00)	0.343 (1.00)	0.002 (1.00)	0.251 (2.09)	5.09	1.00
Model 3	0.943 (3.81)	0.346 (1.90)	0.024 (4.00)	0.247 (1.00)	10.71	2.84
Model 4	0.941 (4.00)	0.353 (4.00)	0.009 (1.95)	0.258 (4.00)	13.95	3.91
Model 5	0.967 (1.38)	0.374 (4.00)	0.034 (4.00)	0.262 (4.00)	13.38	4.00
Model 6	0.952 (2.10)	0.368 (3.62)	0.030 (3.67)	0.244 (2.36)	11.74	3.35
Model 7	0.912 (4.00)	0.328 (1.06)	-0.002 (1.00)	0.229 (1.00)	7.06	1.48
Model 8	0.975 (1.00)	0.327 (1.00)	0.015 (2.42)	0.234 (1.45)	5.87	1.00

The values in brackets in the table are rank values for the relevant statistical criterion.

Table 4. Paired sample t -test results for volume models

Models	Mean	Standard deviation	t	p
Model 1	0.027	0.324	0.488	0.629*
Model 2	0.025	0.330	0.446	0.658*
Model 3	0.052	0.339	0.913	0.368*
Model 4	0.025	0.324	0.457	0.650*
Model 5	0.036	0.362	0.581	0.565*
Model 6	0.050	0.359	0.823	0.416*
Model 7	0.017	0.310	0.332	0.742*
Model 8	0.030	0.308	0.566	0.575*

* $p > 0.05$

The graphs of volume prediction and residuals distribution, illustrated in Figure 3, are presented for the volume models identified as successful in the relative ranking based on statistical criteria. The models were also validated by the paired sample *t*-test. An examination of the figure reveals that as the predicted volumes increase, the prediction errors also tend to increase. Apart from that, the results demonstrate no evidence of bias in the volume predictions.

Double-entry tree volume models provide more reliable estimates compared to single-entry tree volume models (Kahrıman et al., 2017; Sakıcı et al., 2018; Yavuz et al., 2010). Moreover, due to their superior performance in terms of statistical criteria and the successful outcomes reported in the literature for double-entry models, comparisons have been conducted for these models. In the study, volumes were estimated using the best predictive double-entry Model 8, based on statistical criteria, in relation to varying diameters and heights of the steps. Subsequently, volume estimates were obtained using the double-entry volume equations developed from the studies conducted by Alemdağ (1967), Pehlivan (2010), Yavuz et al. (2010), and Şenyurt (2011). The variation in volumes predicted using the equations developed in the previous studies compared to the volumes obtained from Model 8 in this study, with respect to diameter at breast height, is shown in Figure 4.

The error distributions of the single- and double-entry models developed in this study, with those of models presented in the literature, are examined in Figure 5. It can be seen that the model developed in this study produce lower prediction errors than those produced by existing studies, which serves to highlight their significance in providing reliable predictions.

When examining Figures 4 and 5, it is seen that the predictions made by Model 8 differ from those of existing studies. Specifically, predictions made by Model 8 for diameters up to approximately 50 cm are higher than those from existing models, whereas for diameters greater than 50 cm, the predictions are lower. Furthermore, it is observed that the prediction errors associated with Model 8 are lower. This disparity may be attributed to the localized focus of the present study, in contrast to the more general and regional focus of other works, as well as potential differences in site conditions and data structures contributing to this variation.

The validity of the existing equations was tested using a dataset obtained from field studies with the aid of a paired sample *t*-test, and the analysis investigated whether there were statistically significant differences between the observed volumes of sample trees and the predicted volumes calculated using the equations (Table 5).

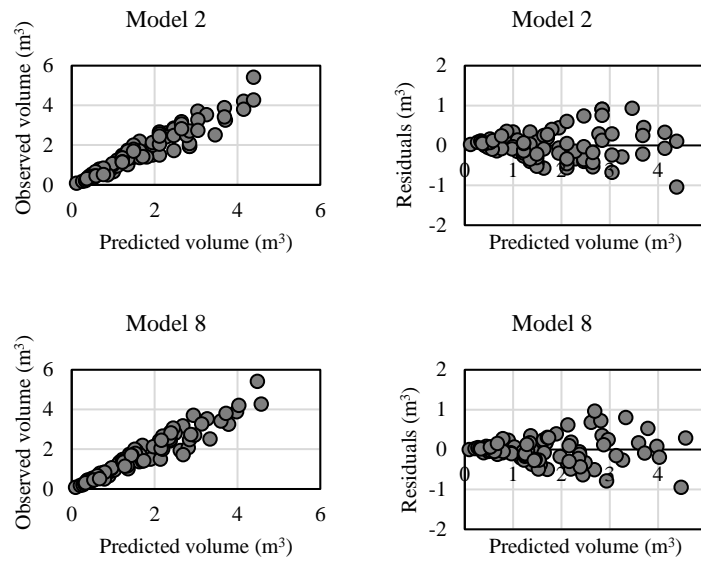


Figure 3. Observed vs. predicted volumes and residuals for best models

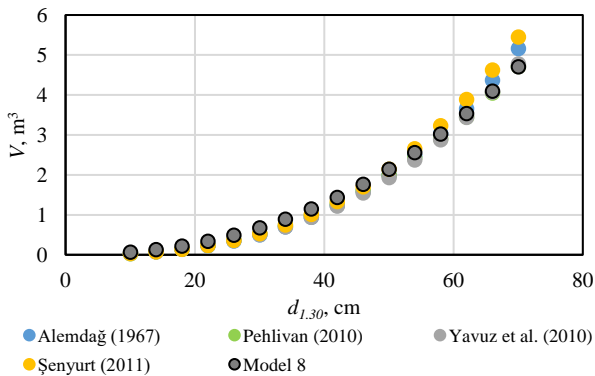


Figure 4. The variation of volumes with respect to diameter

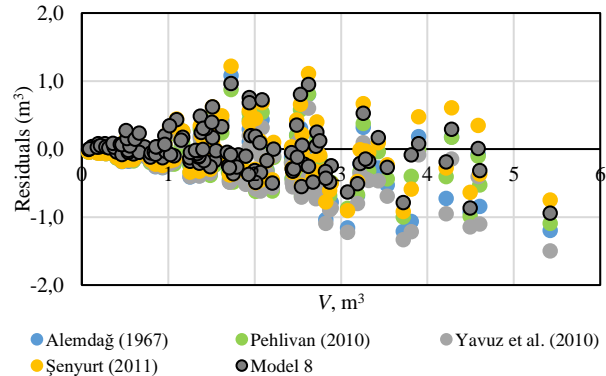


Figure 5. Residuals for models

Table 5. The results of the *t*-test for the models used for volume estimation

Equations	Mean	Standard deviation	<i>t</i>	<i>p</i>
Alemdağ (1967)	0.174	0.364	5.399	<0.001
Pehlivan (2010)	0.158	0.324	5.506	<0.001
Yavuz et al. (2010)	0.227	0.381	6.719	<0.001
Şenyurt (2011)	0.054	0.346	1.773	0.079*
Model 8 (in this study)	0.030	0.308	0.566	0.575*

**p*>0.05

Examination of Table 5 reveals that the volume predictions obtained using the equations developed by Alemdağ (1967), Pehlivan (2010), and Yavuz et al. (2010) exhibit statistically significant differences ($p < 0.05$) in comparison to the observed volume values. It has been observed that the volume predictions derived from the equation developed by Şenyurt (2011) do not exhibit a statistically significant difference from the observed volumes at a 95% confidence level ($p > 0.05$).

The single- and double-entry models developed in this study can be reliably used for volume estimation in the Scots pine stands of the Kastamonu region. Furthermore, it has been demonstrated through a paired sample *t*-test that the models developed by Şenyurt (2011) can also be used for volume estimation. However, when examining the residual distributions of the predictions from both the models developed in this study and those by Şenyurt (2011), it is evident that the models tailored for the region provide more reliable predictions. The tree volume equations developed in this study are valid for volume estimations in Scots pine stands of the Kastamonu region. However, in cases where these equations are to be used for volume estimations of Scots pine in different areas, it is necessary to further assess their suitability for those regions.

4. Conclusion

In this study, single- and double-entry tree volume equations were developed to estimate the stem volume of Scots pine trees in the Kastamonu region. To achieve this object, diameter at breast height and tree height measurements were taken from 127 sample trees obtained from the Kastamonu Forest Enterprise. The volumes of the sample trees were calculated using the sectional method. The developed single- and double-entry models have high coefficients of determination. According to relative ranking, the best predictive single-entry tree volume equation is Model 4, while the best predictive double-entry tree volume equation is Model 8.

According to the information obtained from management plans, the site productivity values of the sampled Scots pine stand in the study area are relatively similar. Consequently, the performance of single- and double-entry tree volume equations are not significantly different from each other. Nevertheless, the error statistics have been relatively calculated to be lower for double-entry equations. While double-entry tree volume equations are recommended for scientific studies requiring reliable volume estimates, it appears that single-entry tree volume equations may be utilized in practical applications where time and cost are of great importance. The developed double-entry model was also compared with existing tree volume equations, and it was observed that the Model 8

presented lower estimation errors. Furthermore, it was determined that the predictions from tree volume equation developed by Şenyurt (2011) did not show a significant difference from the observed volume values. The results of this study will contribute to the reliable estimation of stem volumes for Scots pine trees in the Kastamonu region.

Continuing studies on the development and comparison of tree volume equations, which are one of the essential tools for establishing projections related to forest stands, for the native forest tree species found in Türkiye under different ecological conditions will provide significant contributions to the forestry of Türkiye.

Acknowledgements

This study was conducted under application number 1919B01222560, which was supported by TÜBİTAK through the "2209-A Research Project Support Programme for Undergraduate Students" with Dilara Nur Zaifoğlu as the project manager and Fadime Sağlam as the advisor.

References

- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılcım Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 11, Ankara.
- Alemdağ, Ş., 1967. Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Esaslar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 20, Ankara.
- Asan, Ü., 1984. Kazdağı Gökarnı (*Abies equi-trojani* Aschers, et Sinten.) Ormanlarının Hasılat ve Amenajman Esasları Üzerine Araştırmalar. İ. Ü. Orman Fakültesi, İ. Ü Yayın No: 3205, O.F. Yayın No: 365, Taş Matbaası, İstanbul.
- Baytaş, S., Seki, M., 2023. Safranbolu yöresi Kazdağı göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani*) meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Turkish Journal of Forestry, 24(2): 61-68.
- Bozkuş, H.F., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies clicica* Carr.) ve sedir (*Cedrus libani* L.)'in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47(1): 51-70.
- Brooks, J.R., Wiant, H.V., 2008. Ecoregion based local volume equations for Appalachian hardwoods. Northern Journal of Applied Forestry, 25(2): 87-92.
- Burkhart, H.E., Tomé, M., 2012. Modeling Forest Trees and Stands. Dordrecht: Springer Netherlands, ISBN: 9789048131709
- Carus, S., Memiş, İ., Kündü, K., Alem, Ö., 2016. Şehit Ali İhsan Kalmaz Ormanı karaçam (*Pinus nigra* Arnold) ağaçlandırması için tek ve çift girişli ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 17(1): 37-42.
- Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Crecente Campo, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in Northwest Spain. Annals of Forest Science, 69: 735-746.
- Çalışkan, A., Yeşil, A., 1996. Büyükdüz Araştırma Ormanı sarıçam-gökarn-kayın karışık meşcerelerinde bulunan sarıçam için tek ve çift girişli hacim tablosu. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 46(1): 39-50.
- de-Miguel, S., Mehtätalo, L., Shater, Z., Kraid, B., Pukkala, T., 2012. Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. Canadian Journal of Forest Research, 42: 1383-1394.

- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G., Rojo, A., 2006. Compatible taper function for Scots pine plantations in Northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (5): 1190-1205.
- Ducey, M.J., Williams, M.S., 2011. Comparison of Hossfeld's method and two modern methods for volume estimation of standing trees. *Western Journal of Applied Forestry*, 26(1): 19-23.
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2006. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Matff.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) karışık meşcereleri için hacim tabloları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(10): 10-19.
- Eraslan, Ü., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. OGM Yayını, Ankara.
- Evcimen, B.S., 1963. Türkiye Sedir Ormanlarının Ekonomik Önemi, Hasılat ve Amenajman Esasları. OGM Yayını, Ankara.
- Gülen, İ., 1959. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold) hacim tablosu. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A*, 9(1): 97-112.
- IBM SPSS 23, 2015. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 23.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- Kahriman, A., Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(1): 9-22.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No: 354*, İstanbul.
- Mısır, N., Mısır, M., 2004. Developing double-entry tree volume table for ash in Turkey. *Artvin Orman Fakültesi Dergisi*, 3(4): 135-144.
- Ölmez, K., Şenyurt, M., 2022. Sarıçam ağaçları (*Pinus sylvestris* L.) için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi (Bozalan ve Çubuk yöresi örneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(1): 73-82.
- Özçankaya, N., Batur, M., Kiracioğlu, Ö., 2021. İzmir Orman Bölge Müdürlüğü fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için gövde hacim tablolarının düzenlenmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 8(2): 125-145.
- Özçelik, R., 2010. Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A* (2): 1-15.
- Özçelik, R., Karaer, K., 2016. Eğirdir Yöresi doğal kızılçam ve karaçam meşcereleri için ticari hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1): 59-74.
- Özçelik, R., Çevlik, M., 2017. Batı Akdeniz yöresi doğal sedir meşcereleri için hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 18(1): 37-48.
- Özçelik, R., Alkan, H., Alkan, O., 2018. Dikili ağaçların hacim tahmini için bazı metotların karşılaştırılması. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4): 380-385.
- Pehlivan, S., 2010. Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Pillsbury, N.H., McDonald, P. M., Simon, V., 1995. Reliability of tanoak volume equations when applied to different areas. *Western Journal of Applied Forestry*, 10(2): 72-78.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *For. Sci.*, 59(2): 243-252.
- Rodríguez, F., Lizarralde, I., Fernandez-Landa, A., Condes, S., 2014. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. *European Journal of Forest Research*, 133: 213-223.
- Sağlam, F., Sakici, O.E., 2024a. Ecoregional height-diameter models for Scots pine in Türkiye. *Journal of Forestry Research*, 35: 103.
- Sağlam, F., Sakici, O.E., 2024b. Dynamic site index models sensitive to ecoregional variability for Scots pine stands in Western Black Sea Region of Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196: 1034.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 3(2): 155-168.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. *Turkish Journal of Forestry*, 19(1): 20-29.
- Seki, M., 2023. Predicting stem taper using artificial neural network and regression models for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northwestern Türkiye. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 38(1-2): 97-104.
- Sönmez, T., Gencal, B., Çankaya, E.Ç., 2023. Single- and double-entry volume equations for Turkey oak (*Quercus cerris* L.) stands in Bursa Regional Directorate of Forestry. *Forestist*, 73(1): 51-62.
- Şahin, A., Kahriman, A., Yüksel, Y.B., 2018. Artvin yöresindeki Doğu Karadeniz göknarlarının ağaç hacmini tahmin etmek için mevcut denklemlerin karşılaştırılması. *Uluslararası Artvin Sempozyumu (IAS: International Artvin Symposium)*, Bildiriler Kitabı, Artvin, 18-20 Ekim 2018, s. 671-684.
- Şahin, A., Ercanlı, İ., 2023. Karışık etkili modelleme yaklaşımıyla karaçam hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 10(1): 32-44.
- Şenyurt, M., 2011. Batı Karadeniz Yöresi sarıçam meşcerelerinde artım ve büyüme. *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şenyurt, M., Ümit, M., 2019. Asarkaya kızılçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(2): 108-116.
- Wiant, H.V. Jr., Wood, G.B., Gregoire, T.G., 1992. Practical guide for estimating the volume of a standing sample tree using either importance or centroid sampling. *Forest Ecology and Management*, 49(3-4): 333-339.
- Yavuz, H., 1995. Taşköprü Orman işletmesinde sarıçam ve karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran denklem sistemlerinin geliştirilmesi. *Basılmamış Doçentlik Tezi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon,
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 1181-118.
- Yavuz, H., Mısır, N., Tüfekçioğlu, A., Mısır, M., Altun, L., Ercanlı, İ., Sakıcı, O.E., Kahriman, A., Karahalil, U., Yılmaz, M., Sarıyıldız, T., Küçük, M., Bayburtlu, Ş., Bilgili, F., Meydan, G., Kara, Ö., Bolat, İ., 2010. Karadeniz Bölgesi saf ve karışık sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için mekanistik büyüme modellerinin geliştirilmesi, biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. *Tübitak Araştırma Projesi*, Proje No: 106O274/2006-2010, Ankara.

Tek ağaçta göğüs çap artımının periyot süresi, yaş sınıfı ve sosyal sınıfına göre değişimi: Sarıkamış yöresi sarıçam meşcereleri örneği

Burak Koparan^{a,*}, Onur Alkan^a, Serdar Carus^a, Yılmaz Çatal^a, Ramazan Özçelik^a

Öz: Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ekolojik ve ekonomik açıdan önemli bir ağaç türümüzdür. Bu çalışmada, sarıçamın önemli yayılış alanlarından Sarıkamış- Erzurum yöresinde periyot süresi, yaş sınıfı ve ağacın bulunduğu sosyal sınıfın tek ağaçta göğüs çapı-çap artımı ilişkisini açıklamadaki başarıları incelenmiştir. Bu amaçla yörede 67 adet örnek alanda 268 adet örnek ağaçtan Pressler artım burgusu ile göğüs yüksekliğinden birbirine dik iki artım kalemi alınmıştır. Artım kalemleri üzerinden son 1, 3, 5, 7, 10 ve 15 yıllık çap artımları (mm) ölçülmüştür. Örnek ağaçlar, yaş bakımından genç (yaş grubu- 1), orta (yaş grubu- 2) ve yaşlı (yaş grubu- 3) olmak üzere üç gruba ve Kraft sosyal sınıflarına göre ileri galip, galip, baskıda ve müşterek olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Tek ağaçta göğüs çapı- çap artımı değerleri istatistiksel açıdan aritmetik ortalama bakımından farklı olup olmadığı eşleştirilmiş *t* testi karşılaştırılmıştır. 10 yıllık periyotlardaki çap artımları kontrol grubu olarak seçilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda tek ağaçta göğüs çapı-çap artımını ilişkisini açıklamada sosyal sınıf olarak ileri galip ve galip ağaçlar, periyot süresi olarak ise sırayla yaş grubu 1 için 10, 15 ve 7 yıllık periyotlar; yaş grubu 2 için 10, 7 ve 15 yıllık periyotlar ve yaş grubu 3 için ise 15, 10 ve 7 yıllık periyotlar daha başarılı olmuştur.

Anahtar kelimeler: Çap artımı, Periyot süresi, Sarıçam, Sosyal sınıf, Tek ağaç

Variation of diameter at breast height increment values of single tree by planning period, age class, and social class: Study case of Scots pine stands from Sarıkamış region

Abstract: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is an ecologically and economically important tree species. In Sarıkamış region, one of the important distribution areas of Scots pine, the effects of planning period, age class and social class of the tree on single tree diameter at breast height increment were investigated. For this purpose, two increment pens perpendicular to each other were taken from 268 sample trees in 67 sample areas with Pressler increment borer at breast height. Diameter increments (mm) for the last 1, 3, 5, 7, 10 and 15 years were measured with the help of the increment pens. The sample trees were divided into three groups as young (age group- 1), middle (age group- 2) and old (age group- 3) in terms of age and into four groups as dominant, codominant, suppressed and subdominant in terms of social class. Diameter at breast height-diameter increment values in a single tree were compared by paired *t* test. Diameter increments in 10-year periods were selected as control group. As a result of the comparison, dominant and codominant trees as social class; 10, 15 and 7-year periods for age group 1; 10, 7 and 15-year periods for age group 2; and 15, 10 and 7-year periods for age group 3 were more successful in explaining diameter increment in single tree.

Keywords: Diameter increment, Planning period, Scots pine, Social class, Single tree

1. Giriş

Ormanlar ülkemiz ve dünya için önemli doğal kaynaklardır. Ormanların biyolojik, sosyal ve teknik yönlerden çok iyi tanınması, her türlü iç ve dış ilişkilerine ait özelliklerini ve önemlerinin kavranması gerekmektedir (Saraçoğlu, 1988). Orman kaynaklarını ekonomik, ekolojik ve sosyal-kültürel açıdan maksimum fayda sağlanarak yönetilmesi gerekliliği gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda Türkiye orman amenajman planlama çalışmaları ETFOP'a göre (299 sayılı tebliğ) ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel olmak üzere bu 3 ana fonksiyona göre yapılmaktadır (OGM, 2014). Orman işletmelerinde mevcut ekonomik durumun saptanması, planlı bir şekilde işletilmek için amenajman planlarının düzenlenmesi, bu planlarda

bulunan silvikültürel müdahalelerin zamanında ve tekniğine uygun bir biçimde gerçekleştirilmesi için ormanlarda oluşacak göğüs çapı artımının gerçeğe yakın tahmin edilmesi büyük bir önem taşımaktadır (Kalıpsız, 1982; Bozkuş ve Carus, 1998; Ercanlı vd., 2007; Sönmez ve Şahin, 2008; Bahtiar ve Iswanto, 2023).

Çap artımı ağaçta büyümenin en temel göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Pukkala vd., 1998; Ju vd., 2023). Orman ağaçlarında artım belirli bir zaman aralığında farklı seviyelerde gerçekleşmektedir. Artım, genç yaşlarda hızlı olurken orta yaşlara doğru yavaşlar ve idare süresinin sonuna doğru neredeyse durma noktasına geldiği bilinmektedir (Kalıpsız, 1988; Çatal vd., 2014; Carus ve Gülden, 2014). Ağaçlarda büyüme miktarı sadece yaşa bağlı olarak değil; ağaç türü, orijini, bonitet, sıklık, toprak türü,

* Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta, Türkiye

* Corresponding author (İletişim yazarı): burakkoparan@isparta.edu.tr

Received (Geliş tarihi): 07.08.2024, Accepted (Kabul tarihi): 16.09.2024



Citation (Atıf): Koparan, B., Alkan, O., Carus, S., Çatal, Y., Özçelik, R., 2024. Tek ağaçta göğüs çap artımının periyot süresi, yaş sınıfı ve sosyal sınıfına göre değişimi: Sarıkamış yöresi sarıçam meşcereleri örneği. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 437-446.

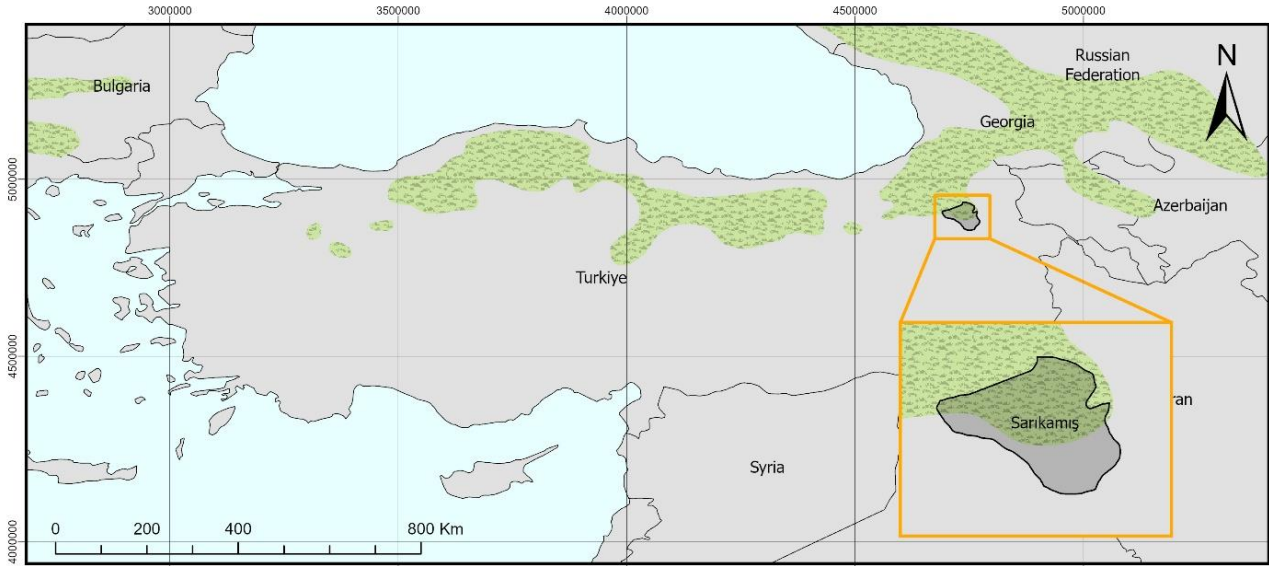
DOI: [10.18182/tjf.1529824](https://doi.org/10.18182/tjf.1529824)

silvikültürel müdahaleler ve iklim koşullarının da etkilediği bir süreç olarak bilinmektedir (Çatal ve Carus, 2011). Tek ağaçtan veya meşcereden elde edilmesi beklenen hacim artımını belirlemede, çap artımının belirlenmesi gereklidir (Kalıpsız, 1988; Hann ve Larsen, 1991; Vanclay, 1994). Meşceredeki ağaçların göğüs yüksekliğindeki çap değeri, o ağaç türü için büyüme özelliklerinin modellenmesinde en sık kullanılan değişkendir. Göğüs çapı ölçülmesi en kolay, pratik, doğruluk düzeyi yüksek ve modellemelerde en yaygın kullanılan değişkendir. Ayrıca, göğüs çapı-çap artımı ilişkisinin aynı yaşlı ormanlarda genel olarak doğrusal bir ilişki gösterdiği bilinmektedir (Kalıpsız, 1982; Çatal ve Carus, 2011; Erkan vd., 2021). Ülkemizdeki ormancılık uygulamaları genel olarak tek ağaçta çap artımı tahmininde periyot uzunluğu 10 yıllık süre esas alınmaktadır. Bunun nedeni olarak amenajman planlarının 10 yılda bir yenilenmesi ve plan ünitesinin çap artımı ve buna bağlı değişen hacim ve hacim artımlarının hesaplanmasında daha doğru olacağı düşünülmüştür (Eraslan, 1954; Karahalil vd., 2011; Çatal vd., 2014).

Ülkemizde Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesinde yayılış yapan sarıçam, artım ve büyüme özellikleri ile ortaya koyduğu ekonomik değer ve dünyada en güney yayılış yaptığı ülke olmamızdan ötürü ekolojik olarak da önemli aslı orman ağacımızdır (Çepel, 1977; Atalay, 2014; Sağlam ve Sakıcı, 2022). Sarıçam, morfolojik olarak açık tohumlu (*Gymnospermae*) alt bölümü *Coniferae* sınıfı *Pinaceae* familyasının *Pinus* cinsi içerisinde yer almaktadır. Yükselti olarak 0-2700 m yükseklikte saf ya da diğer türlerle karışık olarak yetişmektedir. 1,54 milyon ha ile toplam orman varlığımızın %6,8'lik kısmını oluşturmaktadır (OGM, 2020). Mevcut orman varlığımızı geliştirmek için fidan üretimi çalışmalarında ise her yıl 27,6 milyon adet sarıçam fidanı üretilmektedir (OGM, 2020; Nacacı ve Gülcü, 2022).

Kafkasya, Avrupa, Sibirya ve Kuzey Asya'da yayılış yapan tür, literatürde "Scots pine" olarak da bilinmektedir. Odunsu bitkiler arasında büyük bir ekonomik değere sahip olan sarıçam, odun üretimi açısından önemli, dünya ormancılığı için de önemli bir kaynaktır (Goetz vd., 2010). Sarıçam odunu, mobilya yapımı, inşaat malzemeleri, kâğıt ve kâğıt ürünleri gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır (Akkaya vd., 2020). Sarıçamın ülkemizde yayılış yaptığı alanlar ile bu alanlar dahilinde çalışmanın gerçekleştirildiği bölge Şekil 1'de verilmiştir (Euforgen, 2023).

Geçmişten günümüze kadar farklı amaçlar için hazırlanmış olan birçok hasılat araştırmasında, tek ağaçtaki çap artımını ortaya koymak ve bu ilişkileri anlamak için birçok ağaç ve meşcereye ait değişken denenerek çap artımları modellenmeye çalışılmıştır (Günel, 1978; Martin ve Ek, 1984; Atıcı, 2004; Kahrıman ve Yavuz, 2012; Şad, 2014; Şahin vd., 2021; Erkan, 2022). Bu büyüme modelleri genel olarak meşcere ve tek ağaç modelleri olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüze kadar birkaç kapsamlı ve öncü niteliğinde çalışmada tek ağaç büyüme modelleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak Forest (Ek ve Monserud, 1974), kızılçam (Sun, 1978), Prognosis modeli (Wykoff, 1982), Doğu ladini (Akalp, 1982), Prognaus (Sterba ve Monserud, 1997) biçiminde sıralanabilir. Tek ağaçta çap artım modelleri, mevcut ve gelecekte oluşabilecek meşcere yapılarına ışık tutabilmek için gerçekleştirilmektedir. Böylelikle daha tutarlı meşcere hacim tahmini ve daha başarılı silvikültürel teknikler uygulanabilmektedir. Bu çalışma ile Sarıkamış yöresinde yayılış yapan sarıçam meşcerelerindeki tek ağaçlarda çap-çap artımı ilişkisini açıklamak için artım kalemlerinin hangi periyot süresinde, meşcere gelişim çağında ve ağaçların sosyal sınıfının etkisi incelenmiştir.



Şekil 1. Sarıçamın ülkemizde doğal yayılış haritası ve çalışma alanı
Figure 1. Distribution map and study area of natural Scots pine in Turkey

2. Materyal ve yöntem

2.1 Materyal

Çalışmamızda kullanılan veriler Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı, Sarıkamış Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan aynı yaşlı, saf ve doğal yoldan gelmiş sarıçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Veri toplanırken örnek alanlarda bulunan ağaçların farklı meşcere gelişim çağları ve çeşitli ağaç sosyal sınıflarını temsil etmesine özen gösterilmiştir. Bu amaçla 67 adet örnek alandan veri toplanmıştır. Örnek alan büyüklükleri meşcere gelişim çağlarına göre 400, 600 ve 800 m² olarak değişen büyüklüklerde alınmıştır. Alanlar ılımlı alçak aralama ile silvikültürel müdahaleler görmüştür. Her bir örnek alanda Kraft'ın ağaç sosyal sınıfları (ağaçların sosyal mevki sınıflarının (taç tabakası sınıflarının)) göz önünden bulundurularak 4'er ağaç, örnek ağaç olarak seçilmiştir (Eichhorn vd., 2016). Meşceredeki tepe tacı ve boy durumlarına göre Kraft'ın sosyal sınıflandırması baz alınarak tanımlanan İleri galip, Galip, Baskıda ve Müsterek olmak üzere dört farklı sosyal sınıfa ayrılmıştır. İleri galip (dominant) sınıf normalden daha fazla gelişmiş olanlara, galip (co-dominant) sınıf genel olarak meşcereyi temsil eden ve iyi gelişmiş tepelere sahip olan bireyleri, baskıda (suppressed) sınıf ise cılız ve meşceredeki diğer ağaçlar tarafından sıkıştırılmış olan bireyleri, müsterek (subdominant) sınıf ise galip ağaçlar kadar tepe gelişimi olmayan ağaçlar olarak tanımlanmaktadır. Seçilen örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları elektronik çap ölçer yardımıyla 0.01 cm hassasiyetle birbirine dik iki ölçümün ortalaması alınarak ölçülmüştür (Kershaw vd., 2016). 268 adet ağaca ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada 67 adet örnek alanda yer alan 268 örnek ağaçlardan toplam 536 adet artım kalemi alınmıştır. Artım kalemleri Pressler artım burgusu yardımı ile ağaç gövdesine dik, karşılıklı iki yönden ve ağacın özünden geçecek şekilde alınmıştır. Veri toplama işlemleri Sarıkamış yöresinde vejetasyon süresinin bitimi olan Eylül ayının başında gerçekleştirilmiştir. Bu sayede örnek ağaçların bahar ve yaz odunları ile yıllık artım miktarları net bir şekilde gözlemlenebilmiştir. Göğüs çapının çap artımı ile ilişkisi aynı yaşlı ormanlarda doğrusal bir ilişki göstermekte ve bu ilişki $id = f0(t) + f1(b) * d_{1.30}$ denklem ile doğrusal bir modelle ifade edilmektedir (Kalıpsız, 1988). Artım miktarlarını ölçme ve periyot sürelerini belirlemek için seçilen örnek artım kalemleri Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örnek ağaçlara ait tanımlayıcı istatistikler (n=268)
Table 1. Descriptive statistics of sample trees (n=268)

Değişkenler	Min.	Maks.	Ortalama	Standart sapma
<i>d</i> (cm)	8.20	38.40	23.20	6.62
<i>t</i> (yaş)	20.00	100.0	57.73	27.56
Artım miktarı (mm/yıl)	0.90	4.80	2.55	0.38

d, göğüs çapı; *t*, ağaç yaşı, SD, Standart sapma



Şekil 2. Örnek ağaçlardan alınan artım kalemlerinden bazıları
Figure 2. Some of the increment pens taken from sample trees

2.2. Yöntem

Periyot sürelerini ölçmek için artım kalemleri büroda mikroskop yardımıyla incelenmiş ve cetvel ile milimetre cinsinden ölçülmüştür. Her bir örnek için iki artım kaleminden elde edilen verilerin, aritmetik ortalaması alınarak ilgili periyot sürelerindeki periyodik ortalama artımları tespit edilmiştir. Elde edilen 1, 3, 5, 7, 10 ve 15 yıllık artım miktarları, periyot sürelerine bölünerek periyodik ortalama çap artım miktarları hesaplanmıştır. Artım kalemlerinin farklı periyot sürelerine göre artım kalemlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı periyot sürelerine göre artım kalemlerine ait tanımlayıcı istatistikler (n=268)

Table 2. Descriptive statistics of increment pens according to different period durations (n=268)

Periyot Süresi	Minimum	Maksimum	Aritmetik ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
P1	0.90	1.30	1.01	0.081	0.69
P3	1.17	2.47	1.73	0.262	3.93
P5	1.58	3.78	2.52	0.389	5.95
P7	2.00	4.20	3.00	0.466	6.70
P10	2.10	4.54	3.26	0.512	8.01
P15	2.48	4.80	3.79	0.477	5.99

P1,P3,P5,P7,P10 ve P15 sırasıyla 1,3,5,7,10 ve 15 yıllık periyot süresindeki ortalama yıllık çap artım miktarları

Artım kalemleri üzerinden yapılan ölçümler sonucunda elde edilen periyodik ortalama artım değerleri ile örnek ağaçların göğüs çapı arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir. Burada görüldüğü üzere çap ile periyodik ortalama çap artımı arasında ilişki ortaya konmuştur. Bu ilişkiyi daha detaylı anlayabilmek ve farklı yaş ve sosyal sınıflardaki artım miktarlarını bulmak için çeşitli sınıflandırmalar ve regresyon denklemleri elde edilmiştir. Göğüs çapına göre çap artımında yaşanan değişimin geniş bir varyasyon gösterdiği görülmektedir. Ortaya çıkan 0,69 ile 8,01 arasında değişen varyasyon katsayısına, artım kalemi alınan ağaçların değişik yaş ve sosyal sınıflardaki ağaçlardan seçilmesinin büyük etkisi bulunmaktadır.

Sarıkamış yöresinde yayılış yapan doğal ve saf sarıçam meşcereleri ilk önce üç yaş grubuna ayrılmıştır. Bu yaş grupları ise 1. Yaş grubu $20 \leq t \leq 50$ yaş aralığında, 2. Yaş grubu $51 \leq t \leq 80$ yaş aralığında ve $t \geq 81$ olanlar ise 3 numaralı yaş grubunu oluşturmuşlardır. Alınan örnek ağaçların içerisinde 29 adet 1. yaş gurubundan, 19'ar adet ise 2. ve 3. yaş gruplarında örnek ağaçlar bulunmaktadır. Tüm veri seti için regresyon denklemleri, parametre tahminleri ve korelasyon katsayıları verilmiştir. Tüm veri seti için sadece farklı periyot sürelerini incelediğimiz taktirde oluşan göğüs çapı ile çap artım miktarı arasındaki istatistiksel ilişkiyi açıklayan regresyon denklemleri Çizelge 3'te verilmiştir.

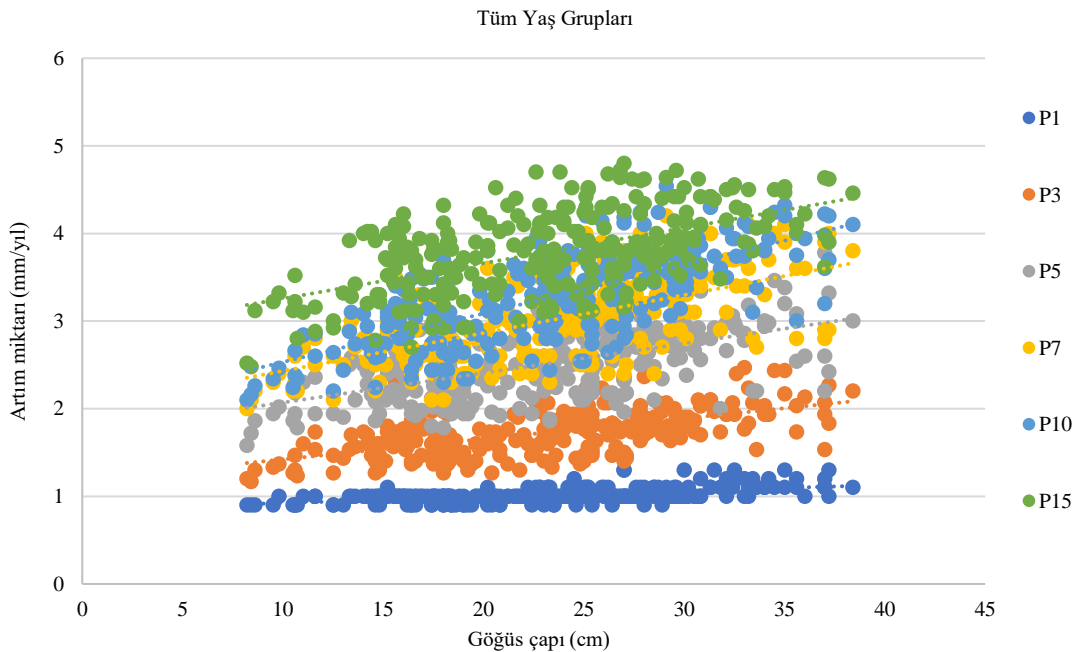
Eraslan (1954), yıllık çap artımı yaş, silvikültürel müdahale ve iklim koşullarına bağlı olarak yıldan yıla büyük değişim gösterdiğini bildirmiştir. Bu değişimin %36'ya varan oranlarda olduğu bildirilmiştir. Loetsch (1952), yıllık çap artımının hesaplanacağı optimum periyot süresi uzunluğunun 5 yıldan az ve 10 yıldan fazla olmaması gerektiğini bildirmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistik analizlerin yapılması için örnek alanlardan elde edilen veriler Microsoft Office Excel 2013 paket programı kullanılarak düzenlenmiştir (Excel, 2007). Farklı sosyal sınıfların göğüs çapı ile periyot sürelerindeki değişimleri ise Python yardımı ile Matplotlib ve Pandas kütüphaneleri kullanılarak çizgi grafikleri çizdirilmiştir (Python Software Foundation, 2024). SPSS Ver. 22.1 istatistik paket programı ile veri grupları her bir periyot için en küçük kareler yöntemi kullanılarak regresyon katsayıları belirlenmiştir (SPSS, 2019). Farklı grupların aritmetik ortalamalarının farklarını karşılaştırılması için eşleştirilmiş *t* testi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla orman hasılat çalışmalarında ve literatürde sıklıkla önerilen 10 yıllık periyot ölçümünü baz alarak 10 yıllık periyot ile diğer periyot sürelerindeki periyodik ortalama artım miktarları, aynı örneklem üzerinde farklı periyotlardaki çap artımı miktarlarının ortalamalarını analiz etmek için eşleştirilmiş *t* testi uygulanmıştır. Burada 10 yıllık periyot süresinin artım miktarları kontrol grubu seçilme sebebi ülkemizde birçok hasılat ve amenajman çalışmasında 10 yıllık periyodun referans (temel) olmasındandır.

Çizelge 3. Tüm veri için regresyon denklemleri katsayıları ve r^2 değerleri

Table 3. Regression equation coefficients and r^2 values for all data

Periyot süresi	Denklemler	r^2
P1	$y = 0.8555 + 0.0069x$	0.306
P3	$y = 1.1889 + 0.0233x$	0.321
P5	$y = 1.7336 + 0.0337x$	0.341
P7	$y = 1.998 + 0.0433x$	0.379
P10	$y = 1.9787 + 0.0554x$	0.498
P15	$y = 2.8528 + 0.0404x$	0.309

y: artım miktarı (mm), x: göğüs çapı (cm)



Şekil 3. Göğüs çapına göre çap artım miktarlarının dağılımı (n=268)

Figure 3. Distribution of diameter increments according to diameter at breast height (n=268)

3. Bulgular ve tartışma

1. Yaş grubuna ait farklı periyot sürelerinde periyodik ortalama artım miktarları Şekil 4'te verilmiştir.

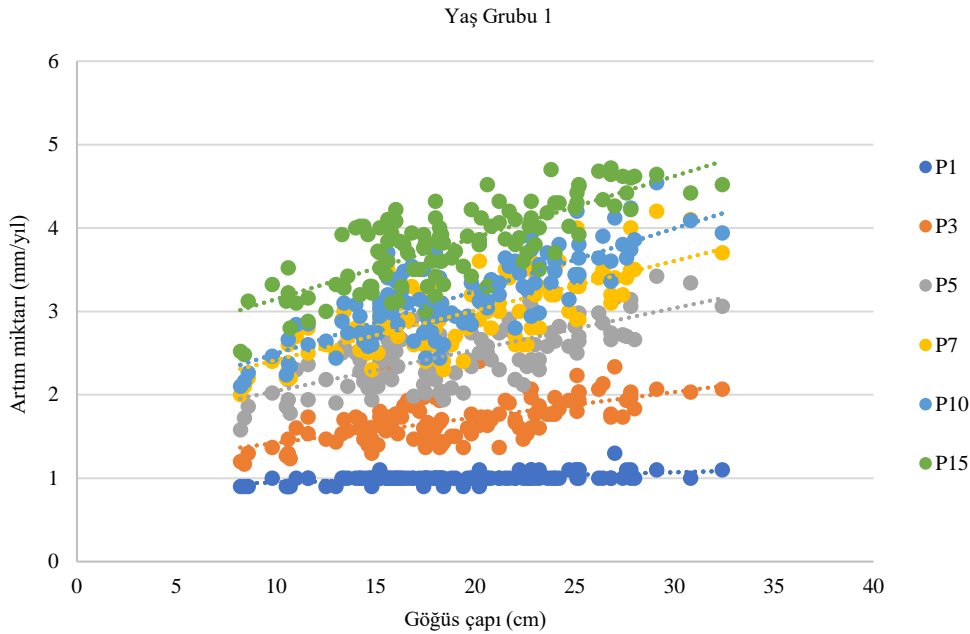
Kraft ağaç sosyal gövde sınıflandırmasına göre 1. yaş grubu içerisindeki ağaçlarda periyodik ortalama çap artımları çizgi grafikleri ile Şekil 5'te verilmiştir. 1. yaş grubu için farklı periyot sürelerinde periyodik ortalama artım miktarlarının göğüs çapı ile ilişkisini anlamak için geliştirilen regresyon denklemleri ve r^2 değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Burada en yüksek r^2 değeri periyot 10 grubundan elde edilmiştir. 10 yıllık periyodu ise sırayla P15, P7 ve P5 takip etmektedir. Yaş grubu 1 olan ağaçlar bu çalışmadaki en genç yaştaki ağaçlardan oluşmaktadır. Bu ağaçların çap dağılımı geniş bir varyasyon göstermektedir. Genç yaşlarda çap artımı göğüs çapı ile doğrusal bir ilişki göstermektedir. Göğüs çapı ile çap artımlarının farklı periyot sürelerindeki korelasyon incelendiğinde en yüksek korelasyon 10, 15 ve 7 yıllık periyotlar olarak bulunmuştur. Çizgi grafikleri 10, 15 ve 7

yıllık periyotlarda incelendiği zaman genç yaş grubunda 10 yıllık artım miktarları ileri galip sınıfta 2,6 mm ile 4,2 mm arasında değişmektedir. 15 yıllık periyotta ise 2,9 mm ile 4,7 mm arasında değişen artım miktarları 7 yıllık periyotta ise 2,5 ile 4,0 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Genel olarak göğüs çapı arttıkça çap artım miktarları 15, 10 ve 7 yıllık periyotlarla artmaktadır. Yaş gurubu 1 için ileri galip ve galip ağaçların göğüs çapı artımı ile çap artımlarının 10 yıllık periyot ile 7 ve 15 yıllık periyotların homojen dağılım gösterdiği, baskıda ağaçlarda bu durumun karmaşıklaştığı görülmektedir.

2. Yaş grubuna ait farklı periyot sürelerinde periyodik ortalama artım miktarları Şekil 6'da verilmiştir. Burada yine göğüs çapı artımı ile artım miktarları doğrusala yakın bir dağılım göstermektedir.

Yaş grubu 2 içindeki farklı periyot sürelerinde periyodik artım miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişkiyi açıklayan regresyon denklemleri ve r^2 değerleri ise Çizelge 5'te, Yaş grubu 3 için ise Çizelge 6'da verilmiştir.



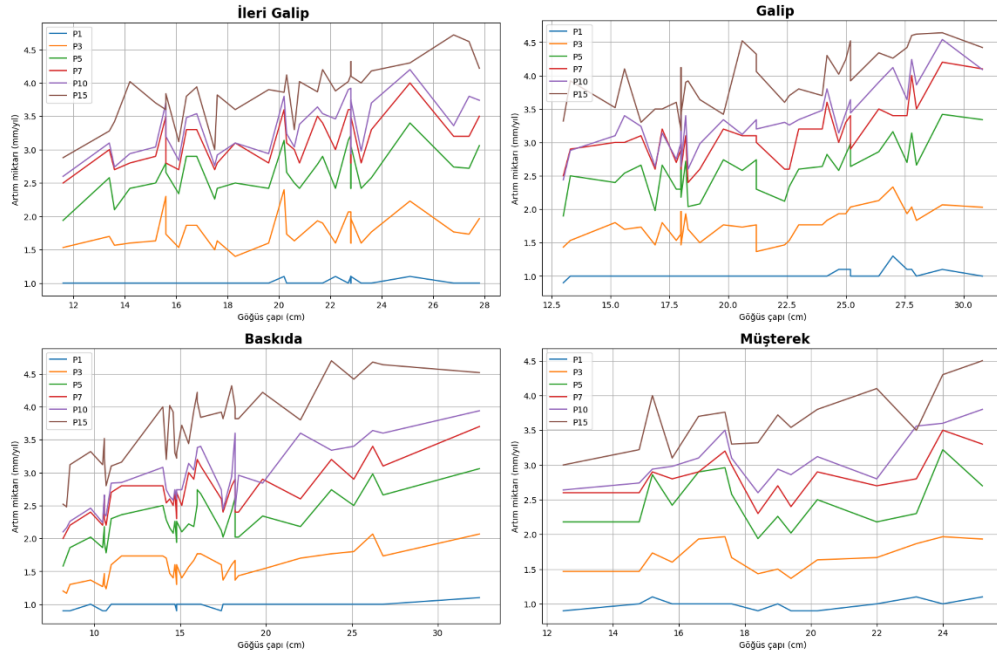
Şekil 4. Yaş grubu 1 için periyodik ortalama artım miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişki (n=116)

Figure 4. Relationship between periodic average increments and diameter at breast height for age group 1 (n=116)

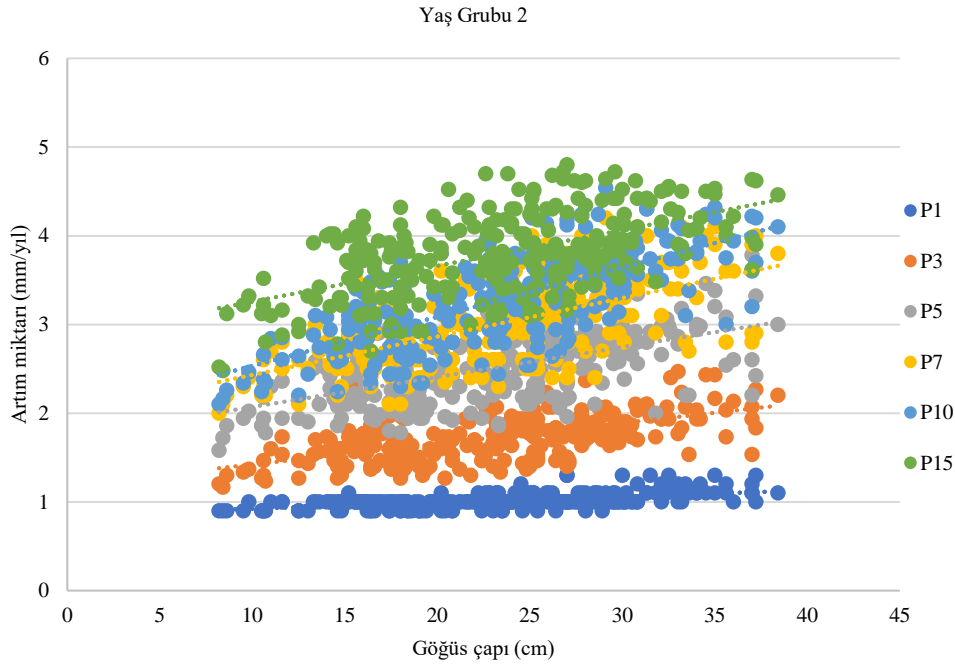
Çizelge 4. Yaş grubu 1 için regresyon denklemi katsayıları ve r^2 değerleri

Table 4. Regression equation coefficients and r^2 values for age group 1

Periyot süresi	Denklem	r^2
P1	$y = 0.8875 + 0.0061x$	0.306
P3	$y = 1.1166 + 0.0305x$	0.409
P5	$y = 1.5468 + 0.0497x$	0.442
P7	$y = 1.833 + 0.0594x$	0.509
P10	$y = 1.7434 + 0.075x$	0.625
P15	$y = 2.4103 + 0.0737x$	0.608



Şekil 5. Yaş grubu 1 için farklı sosyal sınıftaki ağaçların periyodik ortalama artımların radar grafiği
Figure 5. Line plot of periodic average increments of trees in different social classes for age groups 1



Şekil 6. Yaş grubu 2 için periyodik ortalama artım miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişki (n=76)
Figure 6. Relationship between periodic average increments and diameter at breast height for age group 2 (n=76)

Çizelge 5. Yaş grubu 2 için regresyon denklemi katsayıları ve r^2 değerleri
Table 5. Regression equation coefficients and r^2 values for age group 2

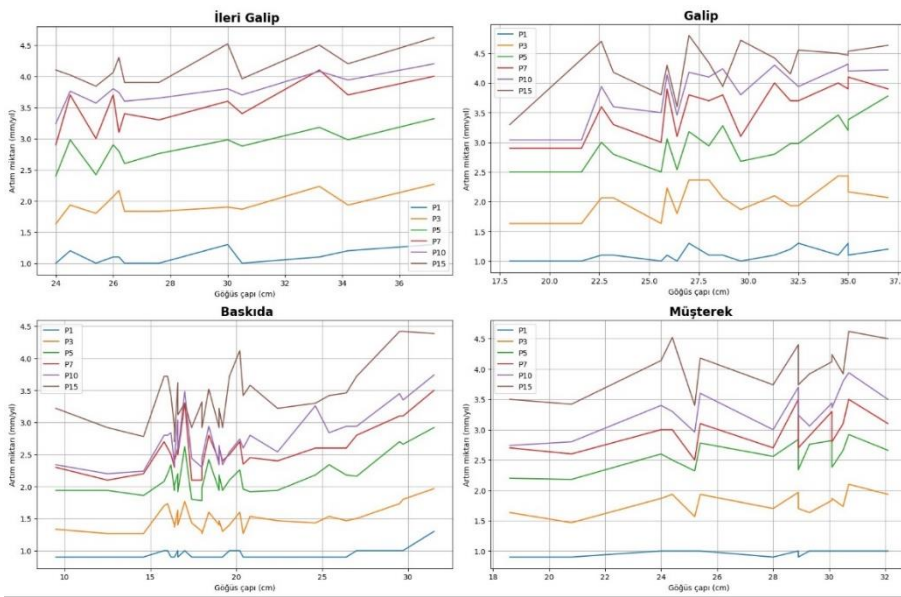
Periyot süresi	Denklem	r^2
P1	$y = 0.7141 + 0.0122x$	0.432
P3	$y = 0.8686 + 0.0360x$	0.545
P5	$y = 1.0876 + 0.0586x$	0.600
P7	$y = 1.268 + 0.0715x$	0.622
P10	$y = 1.253 + 0.0828x$	0.691
P15	$y = 2.1552 + 0.0690x$	0.612

Yaş grubu 2’de örnek ağaçlarda ise göğüs çapı ile farklı periyot sürelerinde artım miktarlarında en yüksek korelasyon sırayla 10, 7 ve 15 yıllık periyotlarda bulunmuştur. Bu grup için 10 yıllık periyodik ortalama miktarı ölçümü ile %69 oranında göğüs çapı ile ilişki açıklanabilmektedir. Çizgi grafikleri ise yaş grubu 1 ile yakın dağılımlar göstermiştir. Şekil 7’de görüldüğü müsterek grubunda heterojen dağılım gerçekleşmiştir. Yaş grubu 2 için örnek ağaçların çap dağılımları ise 9,50 ile 37,20 cm aralığında geniş bir varyasyona sahiptir.

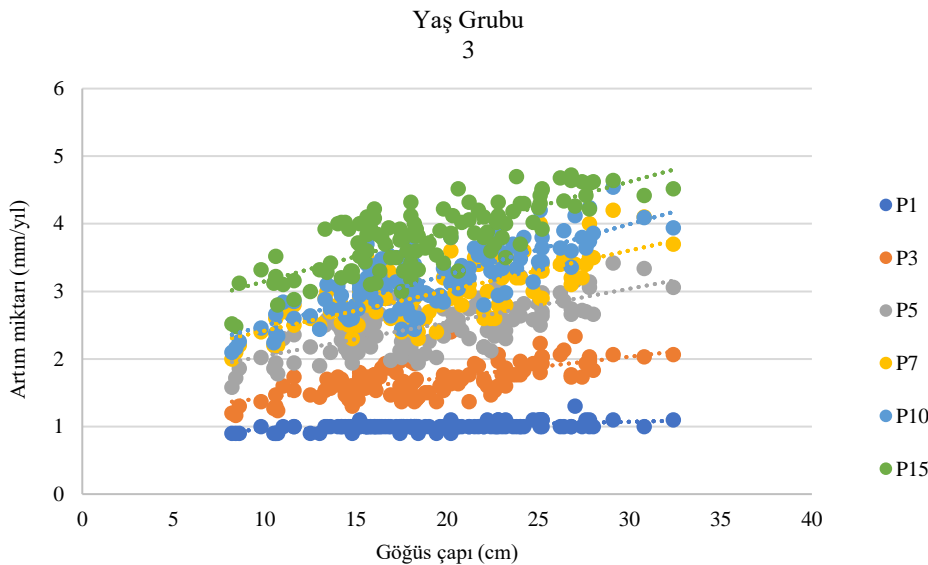
Yaş grubu 3 ise ağaç yaşlarının artık idare sürelerinin sonuna doğru yaklaştığı diğer gruplara göre yaşlı sınıftaki ağaçlardan oluşmaktadır (Şekil 8). Burada yine göğüs çapı ile periyodik ortalama çap artımı arasındaki ilişki incelendiğinde en yüksek korelasyon sırayla 15, 10 ve 7 yıllık periyotlarda bulunmuştur. Şekil 9’da ise Yaş grubu 3 için farklı sosyal sınıflardaki periyodik ortalama artımları verilmiştir. Bu

gruptaki periyodik ortalama çap artımları için en düşük değer 0,90 cm, en yüksek periyodik ortalama çap artımı ise 4,46 cm olarak bulunmuştur. Yaş grubu 3 için çap dağılımları ise 21,80 ile 38,40 cm aralığında diğer gruplara göre daha dar bir varyasyona sahiptir. Burada yaşı ilerleyen bazı ağaçlarda periyodik çap artımının artan bir eğriden durağan bir eğriye dönüştüğü de gözlemlenmektedir.

İki eşleştirilmiş değerlerin karşılaştırılmasında parametrik testlerden biri olan farkın önemlilik testi (eşleştirilmiş *t*-testi) kullanılmıştır. Bu test ile değerlerin birbirine göre farklı olup olmadığını test etmek için 10 yıllık periyodik ortalama çap artımına ait değerler kontrol değişkeni olarak kullanılmış ve diğer periyodik ortalama artımlar ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.



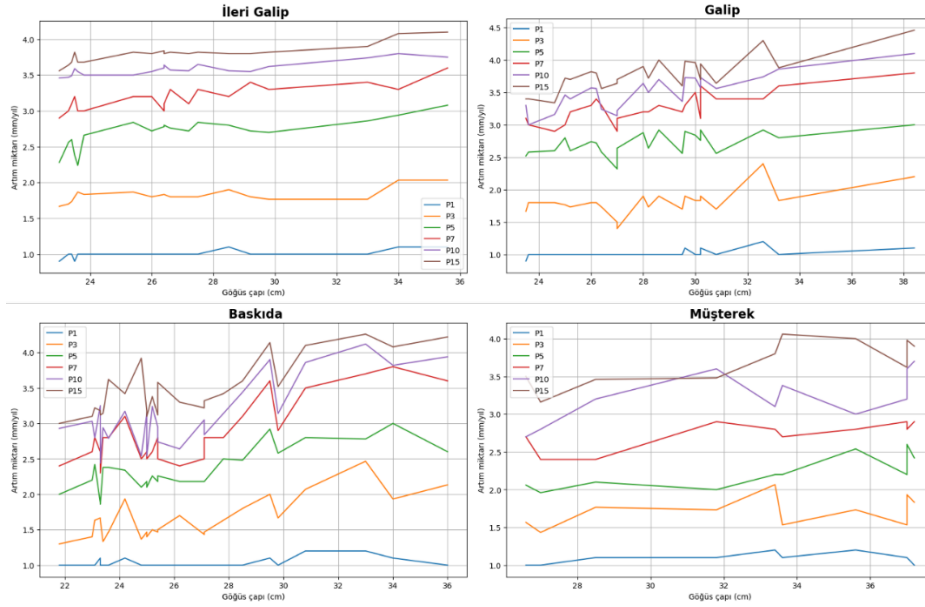
Şekil 7. Yaş grubu 2 için farklı sosyal sınıftaki ağaçların periyodik ortalama artımların çizgi grafiği
Figure 7. Line plot of periodic average increments of trees in different social classes for age groups 2



Şekil 8. Yaş grubu 3 için periyodik ortalama artım miktarları ile göğüs çapı arasındaki ilişki (n=76)
Figure 8. Relationship between periodic average increments and diameter at breast height for age group 3 (n=76)

Çizelge 6. Yaş grubu 3 için regresyon denklemi katsayıları ve r^2 değerleri
Table 6. Regression equation coefficients and r^2 values for age group 3

Periyot Süresi	Denklem	r^2
P1	$y = 0.772 + 0.0091x$	0.241
P3	$y = 0.9483 + 0.0285x$	0.274
P5	$y = 1.7318 + 0.083x$	0.146
P7	$y = 1.9119 + 0.0403x$	0.339
P10	$y = 2.0137 + 0.0483x$	0.375
P15	$y = 2.2077 + 0.0524x$	0.450



Şekil 9. Yaş grupları 3 için farklı sosyal sınıftaki ağaçların periyodik ortalama artımların çizgi grafiği
Figure 9. Line plot of periodic average increments of trees in different social classes for age groups 3

Çizelge 7. Farklı yaş grupları ve tüm veri seti için periyot süresi ve kontrol değerlerine ilişkin eşleştirilmiş t testi sonuçları ile karşılaştırılması

Table 7. Paired t-test results and comparisons related to period duration and control values for different age groups and the entire dataset

Veri	Eşleştirme	Ortalama	SD	Korelasyon (r)	t - değeri
Yas Grubu 1 ($n = 116$)	P1-P10	2.116	0.460	0.630	50.722
	P3-P10	1.472	0.306	0.865	51.861
	P5-P10	0.677	0.229	0.892	31.881
	P7-P10	0.217	0.192	0.922	12.173
	P15-P10	-0.643	0.378	0.707	-18.341
Yas Grubu 2 ($n = 76$)	P1-P10	2.294	0.540	0.789	37.017
	P3-P10	1.548	0.360	0.930	37.482
	P5-P10	0.767	0.261	0.933	25.530
	P7-P10	0.264	0.205	0.960	12.872
	P15-P10	-0.560	0.383	0.850	-14.746
Yas Grubu 3 ($n = 76$)	P1-P10	2.340	0.371	0.266	55.053
	P3-P10	1.620	0.257	0.760	54.950
	P5-P10	0.842	0.245	0.769	29.954
	P7-P10	0.326	0.204	0.852	13.915
	P15-P10	-0.310	0.243	0.776	-11.130
Tüm Veri ($n = 268$)	P1-P10	2.252	0.262	0.642	79.015
	P3-P10	1.536	0.388	0.870	79.866
	P5-P10	0.749	0.461	0.881	48.693
	P7-P10	0.261	0.515	0.925	21.764
	P15-P10	-0.525	0.478	0.742	-20.996

SD: Standart Sapma, n: örnek sayısı.

Tüm t değerleri $p < 0,001$ düzeyinden anlamlı sonuçlar üretmiştir. Tüm incelenen gruplarda istatistiksel açıdan farklılık bulunmuştur. Yani sonuçlar istatistiksel olarak farklılıklar göstermiştir. Buna karşın gruplar da örneğin ileri galip ağaçlarda en yüksek korelasyon, yaş grubu 1 için P7 ile P10 arasında %92 oranında olmuştur. Bu iki grup arasındaki t değeri ise yaş grubu 1 içindeki en düşük t değeri olup, bu değer 12 olarak bulunmuştur. P15 ise t değeri -18,34 olarak bulunmuştur. Farklılık 0.217mm'den -0,643 değerine yükselmiş (mutlak olarak) ve kısaca aritmetik ortalama farklılığı da artmıştır. Diğer gruplarda da yaş grubu 1'e benzer t değerleri ortaya çıkmıştır. Ülkemizde kızılçamda tek ağaçta artım miktarının ölçüldüğü periyot süresi ile 10 yıllık periyot süresini baz alan çalışmada 10 yıllık periyot süresi ile 1, 3, 5, 7 ve 15 yıllık periyot sürelerinin t değerleri sırayla; -8.67, -7.62, 4.05, 7.36 ve -11.15 olarak bulunmuştur (Çatal vd., 2014). Bu sonuçlar ile karşılaştırıldığında grupların aritmetik ortalaması da farklılaştığı belirtilmiş, bir miktar daha aritmetik ortalama farklılığı azaldığı (istatistiksel açıdan aritmetik ortalaması farklı gruplar oluşturduğu) ve farklı yaş grupları ve sosyal sınıflardaki bireylerde periyot süresinin tek ağaçta çap artımını açıklamada başarısı değişmektedir. Yapılan analizler sonucunda Sarıkamış yöresinde sarıçam ağaçlarında 7 ve 15 yıllık periyot sürelerinin 10 yıllık süre ile karşılaştırması sonucu ortaya çıkan t değerlerinin 0'a yakınlığı nedeniyle uygulamada da kullanılabilirliğini göstermiştir. Tüm veri seti ve üç farklı yaş grubu için sonuçlar incelendiğinde ise periyodik artım miktarlarının korelasyonu P10 ile P7 ve P10 ile P15 arasında yüksek korelasyonlar üretmiştir. Burada yaş grubu 1 için 10, 15 ve 7 yıllık periyotları, yaş grubu 2 için 10, 7 ve 15 yıllık periyotların ve yaş grubu 3 için ise 15, 10 ve 7 yıllık periyotlarda çap artımı ölçme işleminin tek ağaç üzerindeki artım miktarını tespit etmekte daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Sosyal sınıflar için ise yaş grubu 1 hariç ileri galip ve galip ağaçların çap artımını yansıtmak en başarılı sosyal sınıf olduğu, müşterek ağaçların tüm yaş gruplarında baskıdaki ağaçlardan daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışma ile Sarıkamış yöresinde yayılış yapan aynı yaşlı saf ve doğal yoldan gelmiş sarıçam meşcerelerinde tek ağaç üzerinde çap artım değerinin farklı periyot sürelerinin ve ağaçların meşceredeki sosyal sınıflarının etkisi incelenmiştir. Tek ağaç üzerinde çap artımına; periyot süresi, meşçere kuruluşu ve ağaçların sosyal sınıflarının etkisi Meyer ve Nelson (1952) enterpolasyon yönteminde vurgulanmıştır. Kalıpsız (1988) ise göğüs çapı-çap artımı ilişkisini tanımlarken meşçere yaşı, bonitet, meşçerede ağaçların sosyal sınıflarının ve sıklığın dikkate alınmamasının hacim artımı hesabında yanlışlıklara neden olabileceğini bildirmiştir.

Çalışmada tüm yaş grupları arasında göğüs çapı ile periyodik artım arasındaki en yüksek korelasyon sırayla P10, P7, P5 olurken tüm yaş grupları içinde P7 daha iyi sonuçlar vermiştir. 5 yıllık periyot süresi verileri farklı yaş gruplarına ayrıldığında P7, P10 ve P15'e göre daha düşük korelasyon göstermektedir. Tüm yaş gruplarında r^2 değerleri P7, P10 ve P15 için sırayla 0,379, 0,498 ve 0,306 çıkmıştır. Verileri yaş gruplarına ayırdığımız zaman yaş grubu 1 için R^2 değerlerinde P7, P10 ve P15 için sırayla 0,509, 0,625 ve 0,608 değerlerine yükselmiştir. Genç yaşta meşcerelerdeki

tek ağaçlarda periyodik ortalama artım miktarının göğüs çapını açıklamada en başarılı periyot 10 yıllık periyot olmuştur. Yaş grubu 2'de ise r^2 değerleri P7, P10 ve P15 için sırayla 0,622, 0,691 ve 0,612 olmuştur. Yine belirli bir yaş aralığında ölçümün daha sağlıklı sonuçlar verdiği, fakat yaş grubu 2 için P7 ile P15 neredeyse aynı oranda başarılı sonuçlar vermiştir. Yaş grubu 3 için ise en yüksek r^2 değerini P15 verirken, onu sırayla P10 ve P7 takip etmiştir. Yaşlı ağaçlarda uzun süreli periyot ölçümünün daha sağlıklı sonuçlar vereceği görülmüştür. Tüm yaş gruplarında 1,3 ve 5 yıllık periyot süreleri k 7, 10 ve 15 yıllık periyot sürelerine göre düşük performans göstermiştir. Periyot süresinin artması, çap-çap artımı ilişkisini açıklamada daha başarılı olmuştur ancak bunun için optimum periyot süresini belirlemek gerekmektedir. Sosyal sınıfların etkisi ise ileri galip ve galip ağaçların tüm yaş gruplarında en iyi sonuçları verdiği, müşterek ağaçların ise tüm yaş gruplarında baskıdaki ağaçlardan daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmüştür.



Bu çalışmanın sonucunda Sarıkamış yöresi aynı yaşlı saf sarıçam meşcerelerinde genç ve orta yaşlı meşcereler için öncelikle 10 yıllık periyodun, daha sonra 7 yıllık periyotların, yaşlı meşcereler için ise 15 ve 10 yıllık periyotların tek ağaçta artım miktarını belirlemek için ölçüm süresinin uygun periyotlar olduğu sonucuna varılmıştır. Ağaçların sosyal sınıfları için ise ileri galip ve galip ağaçların yaş grubu 1'de, yaş grubu 2 ve 3'te ise müşterek dışındaki diğer sosyal sınıflar olan ileri galip, galip ve baskıda ağaçların sırayla daha tutarlı ölçüm sonuçları verdiği görülmüştür. Böylelikle Sarıkamış yöresinde çap artımı tahmini işlemlerinde farklı yaş gruplarındaki ağaçlardaki periyot sürelerinin ve sosyal sınıfların etkileri, araştırmacılar ve uygulayıcılar için referans olabilecektir.

Kaynaklar

- Akalp, T., 1982. Orman hasılatı ve biyometri kürsüsünde hızlı gelişen türler üzerinde yürütülmüş araştırmalar. Türkiye'de Hızlı Gelişen Türlerle Endüstriyel Ağaçlandırmalar Sempozyumu, 21-26 Eylül, Çanakkale, s. 231-237.
- Akkaya, M., Ok, K., Koç, M., Akseki, İ., Akkaş, M.E., 2020. Türkiye'de ithal odun hammaddesinin sektörel kullanımı. Turkish Journal of Forestry, 21(3): 279-293.
- Atalay, I., 2014. Forest composition changes with competition in the northern part of Turkey. European Scientific Journal, 2: 364.
- Atıcı, E., 2004. Tek ağaç artım ve büyüme verilerinin bilgisayar destekli istatistik analizi (Govan). Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 53(2): 37-56.
- Bahtiar, E.T., Iswanto, A.H., 2023. Annual tree-ring curve-fitting for graphing the growth curve and determining the increment and cutting cycle period of sungkai (*Peronema canescens*). Forests, 14(8): 1643.
- Bozkuş, H.F., Carus, S., 1998. Toros Gökarnının (*Abies cilicica* Carr.) Saf ve Sedir (*Cedrus libani* Rich.) ile karışık meşcerelerinde artım silvikültür ilişkileri. Cumhuriyetimizin 75. yılında Ormancılığımız Sempozyumu, 21-23 Ekim, İstanbul, s. 387-397.
- Carus, S., Gülden, Y., 2014. Ağlasun yöresi kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) ağaçlandırmalarında tek ağaçlarda çap artımının modellenmesi. Turkish Journal of Forestry, 15(2): 102-107.
- Çepel, N., 1977. Türkiye'nin önemli yetişme bölgelerindeki saf sarıçam ormanlarının gelişimi ile bazı edafik ve fizyografik etkenler arasındaki ilişkiler. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 26(2): 25-64.
- Çatal, Y., Carus, S., 2011. Effect of pine mistletoe on radial growth of Crimean pine (*Pinus nigra*) in Turkey. Journal of Environmental Biology, 32(3): 263.

- Çatal, Y., Carus, S., Özçelik, R., Alkan, O., 2014. Tek ağaçta çap artımı üzerinde artımın ölçüldüğü periyot süresi ve meşcere sıklığının etkisinin incelenmesi (Ağlasun kızılçam ağaçlandırmaları örneği). II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 22-24 Ekim, Isparta, s. 170-178.
- Eichhorn, J., Roskams, P., Ferretti, M., Mues, V., Szepesi, A., Durrant, D., 2016. Visual assessment of crown condition and damaging agents. UNECE ICP Forests Programme Coordinating Centre, Hamburg.
- Ek, A. R., Monserud, R. A., 1974. FOREST: a computer model for simulating the growth and reproduction of mixed species forest stands. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19750622511>, Erişim: 20.04.2024
- Eraslan, İ., 1954. Trakya ve Bilhassa Demirköy Mıntıkası Meşe Ormanlarının Amenajman Esasları Hakkında Araştırmalar. T.C. Tarım Vekâleti. Orman Umum Müdürlüğü, Yayın Sıra No: 132, Seri No: 13. Kader Basımevi, İstanbul.
- Ercanlı, İ., Keleş, S., Sivrikaya, F., Çakır, G., Günlü, A., Karahalil, U., Kadioğulları, A., Başkent, E.Z., Köse, S., 2007. The construction of variable density yield table for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Yalnızçam and Uğurlu state forest enterprises. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2: 78-101.
- Erkan, N., Kaya, A., Kalkan, B., 2021. Sarıçamın (*Pinus silvestris* L.) doğal yayılış alanı dışında gösterdiği bir performans: Pütürge örneği. Ağaç ve Orman, 2(1): 15-21.
- Erkan, N., 2022. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki sedir ve karaçam ağaçlandırmalarının büyüme ve karbon birikimi açısından uzun dönem sonuçlarının değerlendirilmesi. Ormanlık Araştırma Dergisi, 9(1): 61-69.
- Euforgen, 2023. European Forest Genetic Resources Programme, Spain, <https://www.euforgen.org/species/pinus-sylvestris/>, Accessed: 19.05.2023.
- Excel, M.S., 2007. Microsoft Excel. Denver Co., USA.
- Goetz, R.U., Hritonenko, N., Mur, R.J., Xabadia, A., Yatsenko, Y., 2010. Forest management and carbon sequestration in size-structured forests: the case of *Pinus sylvestris* in Spain. Forest Science, 56(3): 242-256.
- Günel, H.A., 1978. Tek Ağaç ve Meşcerede Artım ve Büyümenin Matematiksel Modelleri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Ju, J.D., Shin, C.S., Seo, J.W., 2023. Tree-ring analysis for understanding growth of *Larix kaempferi*. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 51(5): 345-357.
- Hann, D.W., Larsen, D.R., 1991. Diameter growth equations for fourteen tree species in southwest Oregon. Forest Research Lab, College of Forestry, Oregon State University.
- Kahriman, A., Yavuz, H., 2012. Doğu Karadeniz Göknaarı-Doğu Ladini karışık meşcerelerinde çeşitli yarışma endekslerinin tek ağaçların çap artımındaki etkilerinin incelenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13(2): 235-249.
- Kalipsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Kalipsız, A., 1988. Orman Hasılat Bilgisi, İstanbul Üniversitesi Yayın No: 3516, Orman Fakültesi Gençlik Basımevi, İstanbul.
- Karahalil, U., Köse, S., Çelik, D.A., Küçümen, A., 2011. Köprülü kanyon milli parkı orman amenajman planının koruma hedeflerine göre modelleme ile hazırlanması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Özel Sayısı, 26-28 Ekim, Kahramanmaraş, s. 122-130.
- Kershaw Jr, J.A., Ducey, M.J., Beers, T.W., Husch, B., 2016. Forest Mensuration. John Wiley & Sons.UK.
- Loetsch, F., 1952. The possibility of improving methods for making forest inventories in central Europe. Zeitschrift für Weltforstwirtschaft, 15(2): 41-57.
- Martin, G.L., Ek, A.R., 1984. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. Forest Science, 30(3): 731-743.
- Meyer, H.A., Nelson, F.B., 1952. Accuracy of forest growth determination based on the measurement of increment cores. Bulletin of the Pennsylvania Agricultural Experiment Station, 547: 5-127.
- Nacakçı, F.M., Gülcü, S., 2022. Differences between provenances in terms of some morphological characteristics in the scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance trial of the Lakes region. Turkish Journal of Forestry, 23(3): 196-202.
- OGM, 2014. Ekosistem tabanlı fonksiyonel orman amenajman planlarının düzenlenmesine ait usul ve esaslar. Tebliğ No: 299, T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı, Ankara.
- OGM, 2020. Türkiye Orman Varlığı 2020. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimizsitesi/TurkiyeOrmanVarligi/Yayinlar/2020%20T%C3%BCrkiye%20Orman%20Varligi%20C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf>, Erişim: 05.03.2024.
- Pukkala, T., Miina, J., Kurttila, M., Kolström, T., 1998. A spatial yield model for optimizing the thinning regime of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research, 13(1-4): 31-42.
- Python Software Foundation., 2024. Python Language Reference, version 2.7. Available at <http://www.python.org>, Accessed: 12/04/2024.
- Sağlam, F., Sakıcı, O. E., 2022. Kastamonu ve Sinop yöresi sarıçam meşcereleri için ekorejyon tabanlı çap artım modeli. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 24(1): 95-110.
- Saraçoğlu, Ö., 1988. Karadeniz Yöresi Göknaar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Orman Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- SPSS, I., 2019. IBM SPSS Statistics Vers 25, 2019. <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>, Accessed: 10/04/2024.
- Sterba, H., Monserud, R. A., 1997. Applicability of the forest stand growth simulator PROGNAUS for the Austrian part of the Bohemian Massif. Ecological Modelling, 98(1): 23-34.
- Sönmez, T., Şahin, A., 2008. Eşit yaşlı saf ve karışık doğu ladini meşcerelerinde son on yıllık çap artımının incelenmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 9(1): 107-110.
- Sun, O., 1978. Bir kızılçam, (*Pinus brutia* Ten.) ağacının simülasyonu için büyüme modeli. Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 1: 276-292.
- Şad, H., 2014. Ağaç serveti ve artımına ilişkin envanter sırasında artımın saptanması maksadile dikili gövdelerden artım kalemi alma esasları. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 37(2): 66-70.
- Şahin, A., Aylak Özdemir, G., Özdemir, E., 2021. Gövde analizi çalışmalarında yeni ve kombine bir yöntem. Ormanlık Araştırma Dergisi, 8(2): 208-210.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling Forest Growth And Yield: Applications To Mixed Tropical Forests. Cab International, UK.
- Wykoff, W., 1982. User's guide to the stand prognosis model (Vol. 133). US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.

Dynamic trajectories of land use and land cover changes in Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia

Miftahul Irsyadi Purnama^{a,b,*} , Hüseyin Oğuz Çoban^c 

Abstract: This study investigates the dynamic trajectories of land use and land cover (LULC) changes in Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia, from 2013 to 2022. Utilizing Landsat satellite imagery and a combination of land cover classes from the Indonesian Ministry of Environment and Forestry (MoEF) with the machine learning-based Random Forest algorithm, we aimed to improve classification accuracy and model land cover transitions over time. Intensity analysis was used to measure the impact of population-related land use changes, while trajectory analysis quantified the directional shifts in land cover was employed to quantify and characterize these changes. The analysis highlights substantial transitions from primary and secondary forests to agricultural lands and urban areas, driven by urbanization, population growth, and infrastructure development. Specifically, the period saw a significant forest loss of 28,095 hectares, accounting for 24% of the total forest area, alongside a modest forest gain of 2,453 hectares, indicating ongoing environmental pressures. Despite conservation efforts, rapid economic growth continues to threaten Lombok's forest ecosystems. These findings underscore the urgent need for sustainable land management policies to balance development and ecological preservation while mitigating future forest losses.

Keywords: Land use and land cover, Lombok Island, Intensity analysis, Trajectory analysis

Endonezya'nın Batı Nusa Tenggara Bölgesi'nde bulunan Lombok Adası'ndaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimlerinin dinamik izleri

Öz: Bu çalışma, 2013-2022 yılları arasında Endonezya'nın Batı Nusa Tenggara Bölgesinde bulunan Lombok Adası'ndaki arazi kullanımı ve arazi örtüsü (AK/AÖ) değişimlerinin dinamik yörüngelerini incelemektedir. Çalışmada, Landsat uydu görüntüleri ve Endonezya Çevre ve Orman Bakanlığı'nın (MoEF) arazi örtüsü sınıfları, makine öğrenimi tabanlı Random Forest algoritması ile birleştirilerek sınıflandırma doğruluğunu artırmayı ve zaman içinde arazi örtüsü geçişlerini modellemeyi amaçladık. Nüfusla ilişkili arazi kullanımı değişimlerinin etkilerini ölçmek için yoğunluk analizi, arazi örtüsü değişimlerinin yönelimini belirlemek için ise yörünge analizi kullanılmıştır. Analiz, kentleşme, nüfus artışı ve altyapı gelişiminin etkisiyle birincil ve ikincil ormanlardan tarım arazilerine ve kentsel alanlara önemli geçişler olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle, dönemde toplam orman alanının %24'üne denk gelen 28.095 hektarlık orman kaybı ve 2.453 hektarlık orman kazancı gözlemlenmiştir. Bu durum, çevresel baskıların hala devam ettiğini göstermektedir. Koruma çabalarına rağmen, hızlı ekonomik büyüme Lombok'un orman ekosistemleri üzerinde baskı oluşturmaya devam etmektedir. Bulgular, kalkınmayı ve ekolojik korumayı dengeleyerek gelecekteki orman kayıplarını azaltmayı hedefleyen sürdürülebilir arazi yönetimi politikalarının acil gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Arazi kullanımı ve arazi örtüsü, Lombok Adası, Yoğunluk analizi, Yörünge analizi

1. Introduction

Land cover change has been the subject of intense scientific investigation due to its significant implications for ecosystems, biodiversity and human livelihoods (Edith and Xue, 2020). In regions such as West Nusa Tenggara Province, Indonesia, an understanding of the dynamics of land cover change is crucial for effective natural resource management and sustainable development (Rijal et al., 2023). Over the past few decades, rapid population growth, urbanization, agricultural expansion, and other human activities have put significant pressure on the region's land cover, causing widespread transformations in its landscape (Karimov et al., 2023; Mariye et al., 2022). In addition, climate change

impacts, such as changing rainfall patterns and increased frequency of extreme weather events, further exacerbate the vulnerability of West Nusa Tenggara's ecosystems to land cover change (Edith and Xue, 2020).

Remote sensing techniques combined with Geographic Information Systems (GIS) have become powerful tools for monitoring and analyzing land cover change over large spatial areas and long time periods (Çoban, 2009; Das and Angadi, 2022; Rawat and Kumar, 2015; Sameer and Hamid, 2023). By utilizing satellite imagery and sophisticated analytical methods, researchers can systematically quantify and characterize the spatial and temporal patterns of land cover change in West Nusa Tenggara Province. However, despite advances in technology and methodology, there is still

✉ ^a Department of Forest Engineering, The Institute of Graduate Education, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, 32200, Türkiye
^b Saujana Climate Communities, West Lombok 83363, Indonesia
^c Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, 32200, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): miftahulpurnama@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 29.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 21.10.2024



Citation (Atıf): Purnama, M.I., Çoban, H.O., 2024. Dynamic trajectories of land use and land cover changes in Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 447-458.
DOI: [10.18182/tjf.1524144](https://doi.org/10.18182/tjf.1524144)

a need for comprehensive studies that provide detailed insights into the drivers, trends and impacts of land cover change in the region (Edith and Xue, 2020). Such studies are important to inform evidence-based policy decisions and facilitate adaptive management strategies to mitigate the adverse effects of land cover change on ecosystems and human well-being.

In addition, the application of innovative visualization techniques, such as trajectories, offers a promising approach to synthesize complex spatial-temporal data on land cover change into easily accessible and interpretable visual representations (Zhou et al., 2008). The use of trajectories allows researchers to depict the flow and trajectory of land cover transitions across different categories through time, thus facilitating a deeper understanding of the underlying dynamics of land cover change (Mugiraneza et al., 2020; Van der Laan et al., 2018). By integrating quantitative analysis with visual narratives, the researchers were able to effectively communicate their findings to various stakeholders, including policy makers, land managers, and local communities, facilitating greater awareness and cooperation towards sustainable land use practices and conservation efforts in the region. The purpose of this study is to analyze the dynamics of land use/land cover (LULC) changes on the Lombok Islands in West Nusa Tenggara, Indonesia.

2. Materials and methods

2.1. Study area

Indonesia, as an archipelago, boasts a vast area of around 1.9 million square kilometers and is home to over 273 million people. It is a country of immense diversity, both culturally and geographically, consisting of thousands of islands, each with its unique characteristics and contributions to the nation's rich tapestry. Lombok Island, located in West Nusa

Tenggara, is one of the many islands that make up Indonesia's diverse archipelago (Figure 1). This island, along with Sumbawa Island, forms the province of West Nusa Tenggara. Lombok covers an area of approximately 4,739 square kilometers and has a population of about 3.3 million people. The island is renowned for its stunning landscapes, including majestic mountains, fertile plains, and pristine beaches, making it a significant destination for tourism within Indonesia. Geographically, Lombok is characterized by its central volcanic range, with Mount Rinjani being the most prominent peak, standing at 3,726 meters above sea level. This stratovolcano is the second highest in Indonesia and a popular trekking destination. The island's diverse topography supports a variety of ecosystems, from lush rainforests to arid grasslands. In terms of land use, Lombok exhibits diverse patterns. Agriculture dominates the land cover, occupying approximately 61.4% of the total area. This sector is crucial to the local economy, with rice, tobacco, and coffee being the primary crops. Forests cover around 25.8% of Lombok's area, playing a vital role in maintaining ecological balance and biodiversity. However, the island has experienced significant land use changes over the years, particularly deforestation and forest degradation, resulting in the conversion of forests to agricultural land and shrubs (Kim, 2016).

2.2. Land cover datasets

The methodology for generating LULC data from the Indonesian Ministry of Environment and Forestry (MoEF) follows the guidelines outlined in Head of Forestry Planning P.1-VII-IPSDH-2015, which outlines the Land Cover Monitoring Guidelines (Pedoman Pemantauan Penutupan Lahan) (P.1-VII-IPSDH, 2015). Land cover was classified into nine categories (Kim, 2016). These classes were separated and combined into nine more general classes to facilitate data analysis and interpretation (Table 1).

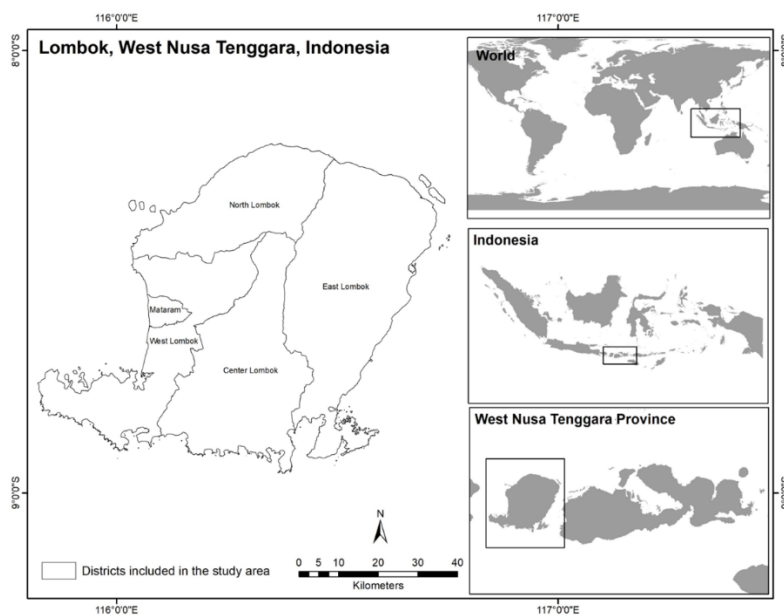


Figure 1. Study area (Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia)

Table 1. Land cover class codes

New land cover class	New class code	MoEF land cover class code
Primer forests	1 (PF)	2001 (Primary dryland forest) 2004 (Primary mangrove forest)
Seconder forests	2 (SF)	2002 (Secondary dryland forest/ opened forest) 20041 (Secondary/cut mangrove forest)
Dry land agriculture	3 (DLA)	20091 (Dryland agriculture) 20092 (Dry farming mixed shrubs/mixed gardens)
Paddy fields	4 (PFi)	20093 (Paddy fields)
Grasslands/Shrubland	5 (GS)	3000 (Savanna / Grassland) 2007 (Bushes)
Estate crop	6 (EC)	2010 (Plantation / Garden) 2006 (Plantation forest)
Wetlands	7 (W)	5001 (Water structures) 20094 (Ponds)
Settlement (Build up)	8 (SB)	2012 (Settlement / Inhabited land) 20121 (Airport/Port) 20122 (Transmigration) 2014 (Bare Land)
Other	9 (O)	20071 (Swamp shrubs) 20141 (Mine)

The land cover classification methodology uses a combination of land cover classes from the Ministry of Environment and Forestry (MoEF) that have been enhanced with a pre-trained Random Forest machine learning algorithm. The Random Forest algorithm achieved an overall accuracy of 0.82 and a ground truthing accuracy of 0.88 using several input variables, including Coastal Aerosol, Blue, Green, Red, Near Infrared (NIR), SWIR 1, SWIR 2, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Elevation, Slope, Aspect, Soil Type, Population Density, Proximity to Roads, Proximity to Settlements, Proximity to Rivers, Proximity to Central Government, Average Temperature, and Average Rainfall.

In land cover classification, the Random Forest algorithm works by creating a large number of decision trees (Figure 2) using random subsets of training data and input variables. Each decision tree provides a prediction of the land cover class based on the data it receives (Breiman, 2001; Das et al., 2022; Purnama et al., 2024). The predicted results from all decision trees are then combined through a majority voting mechanism to determine the final class of each land cover instance. This approach improves classification accuracy by reducing overfitting and utilizing the collective power of many simpler models. The time series (Figure 3) used for this classification covers the years 2013, 2017, and 2022, utilizing land cover classifications from MoEF in combination with the Random Forest algorithm, allowing for a detailed temporal analysis of land cover change over almost a decade.

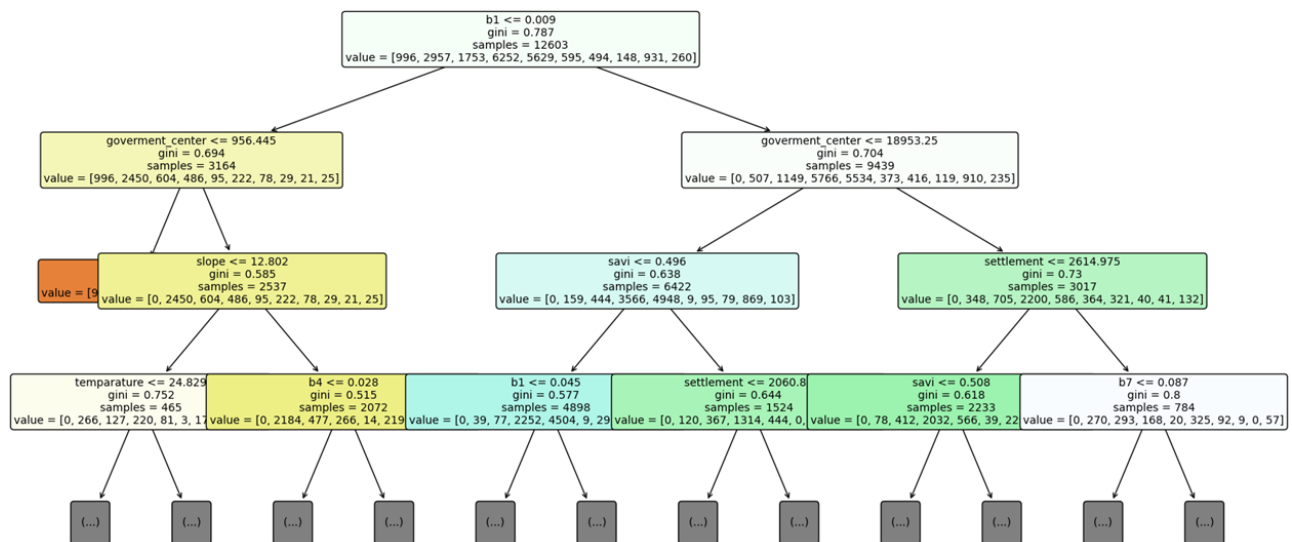


Figure 2. One of the decision tree examples in Random Forest algorithm

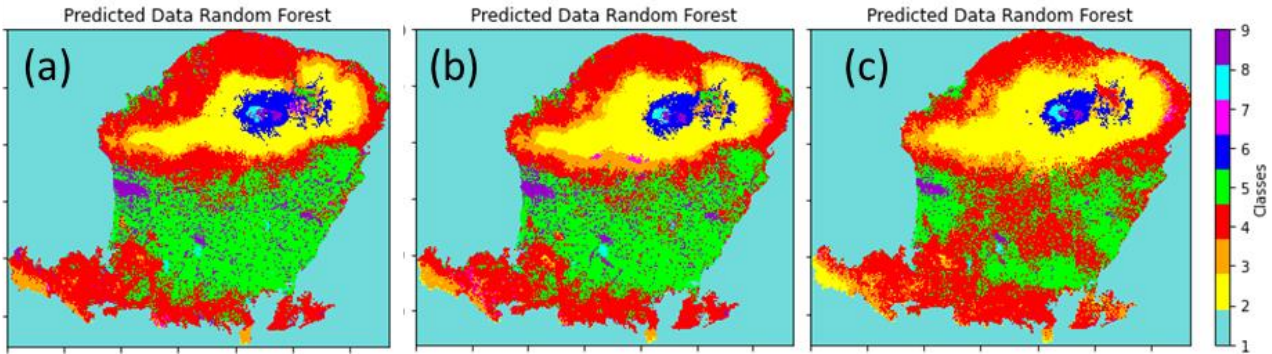


Figure 3. MoEF's and Random Forest land use/land cover classes: a) 2013, b) 2017, c) 2022 (1:Primary Forest, 2:Secondary Forest, 3:Dry Land Agriculture, 4:Paddy Fields, 5:Grassland/Shrubland, 6:Plantation, 7:Wetlands, 8:Settlement, 9:Others)

2.3. Intensity analysis

Intensity Analysis is a mathematical framework used to quantify and characterize changes in LULC over time. It decomposes the observed changes into different components to provide insights into the dynamics of LULC transitions (Akodéwou et al., 2020; Ouedraogo et al., 2023; Quan et al., 2020).

The first level determines how the annual change percentage (Equation 1) varies compared to a uniform annual change (Equation 2).

$$S_t = \frac{(size\ of\ change\ during\ [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(size\ of\ spatial\ extent)(duration\ of\ [Y_t, Y_{t+1}])} \quad (1)$$

$$U = \frac{(size\ of\ change\ during\ all\ intervals)100\%}{(size\ of\ spatial\ extent)(duration\ of\ all\ intervals)} \quad (2)$$

The second level compares, for each category, a uniform intensity S_t to the intensity of loss L_{ti} (Equation 3) and the intensity of gain G_{tj} (Equation 4) during each time interval $[Y_t, Y_{t+1}]$.

$$L_{ti} = \frac{(size\ of\ loss\ of\ i\ during\ [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(size\ of\ i\ at\ time\ Y_t)(duration\ of\ [Y_t, Y_{t+1}])} \quad (3)$$

$$G_{tj} = \frac{(size\ of\ gain\ of\ j\ during\ [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(size\ of\ j\ at\ time\ Y_{t+1})(duration\ of\ [Y_t, Y_{t+1}])} \quad (4)$$

The last level compares, during an analysed time interval, the transition intensity R_{tij} (Equation 5) from category i to category j to a uniform transition intensity W_{tj} (Equation 6), given the gain of category j (Akodéwou et al., 2020; Huang et al., 2018).

$$R_{tij} = \frac{(size\ of\ transition\ from\ i\ to\ j\ during\ [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(size\ of\ i\ at\ time\ Y_t)(duration\ of\ [Y_t, Y_{t+1}])} \quad (5)$$

$$W_{tj} = \frac{(size\ of\ gain\ of\ j\ during\ [Y_t, Y_{t+1}])100\%}{(size\ of\ not\ j\ at\ time\ Y_t)(duration\ of\ [Y_t, Y_{t+1}])} \quad (6)$$

2.4. Trajectory analysis

The analysis of land cover change trajectories in the study area covers time periods with year intervals (2013, 2017 and 2022). These intervals were chosen based on the availability of satellite imagery and land cover classes from the Ministry of Environment and Forestry (MoEF). Although the intervals are unequal, this does not affect the analysis, as the calculations focus on annual rates of change, ensuring consistent year-to-year comparisons. To ensure the representativeness of the sample and the accuracy of the spatial analysis, a fishnet (Figure 4) was systematically established across the study area (Ziotti et al., 2022). GIS software, specifically ArcGIS, was used in this process. The grid size was set with a minimum distance of 100 meters between points. This aims to obtain land cover data that represents a random variety of land conditions and avoid biases caused by spatial data clustering. After the grid generation was completed, the land cover value for each point was extracted for each year using ArcGIS. With this technique, land cover data was obtained for each location at different time periods, making it possible to track land cover changes over time.

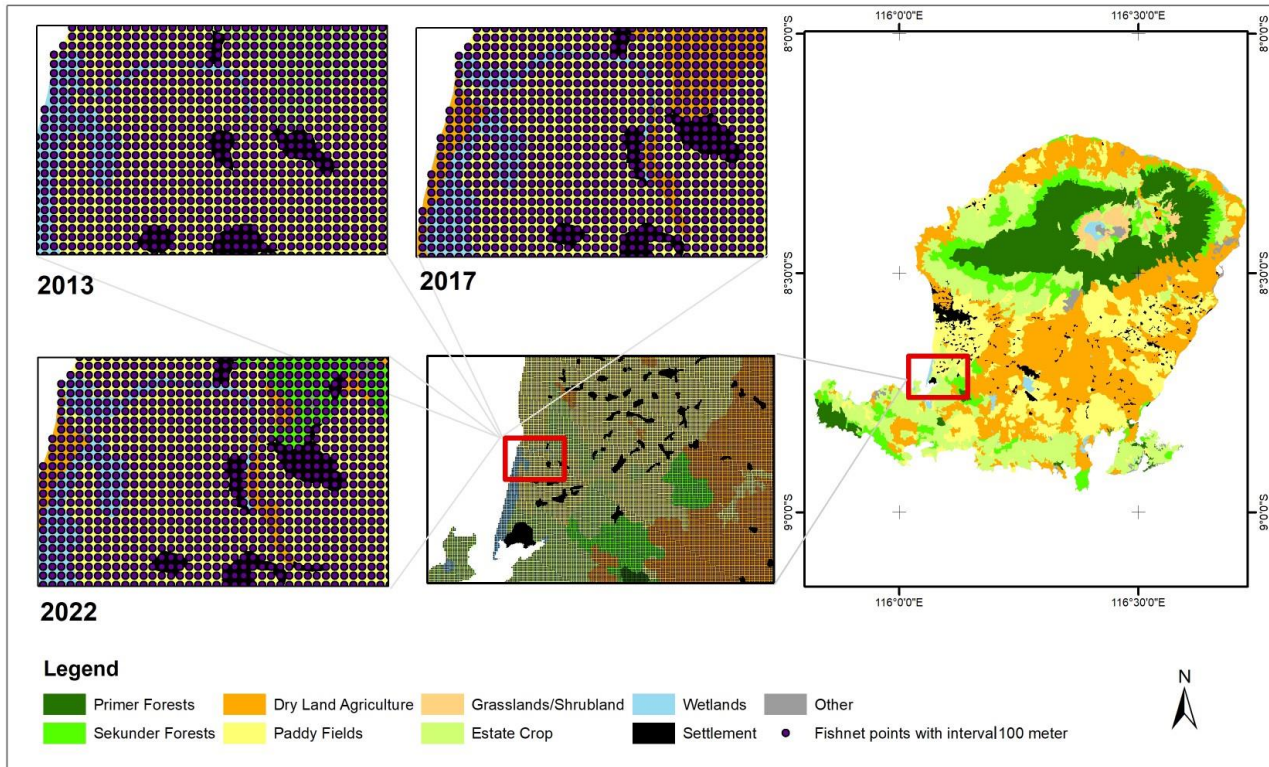


Figure 4. Distribution of sample points (with intervals 100 x 100 m)

The next step is the creation of alluvial sankey diagrams to visualize the flow of land cover change trajectories and identify transition patterns between land cover classes (Akodéwou et al., 2020; Gong et al., 2022; Ziotti et al., 2022). Google Colab, a web-based computing platform, was used as an analysis environment. The “plotly.graph.objects library” was imported to enable the creation of the sankey diagram visualization.

The land cover data that had been extracted from ArcGIS was then converted to a format suitable for the creation of sankey diagrams. This process involved creating two main data structures: dictionary nodes and dictionary links. The node dictionary contained information about the land cover classes, which were redefined using the “label_mapping” dictionary to improve readability. In addition, a “class_colors” dictionary was created to assign different colors to each land cover class, thus facilitating visual interpretation. The link dictionary, on the other hand, stores information about transitions between land cover classes. This information includes the start (source) and target (destination) points of the transition, the number of data points undergoing change, and the label describing the transition.

3. Results and discussion

3.1. Intensity analysis

The LULC change rate in Lombok from 2013-2017 (30.27%) was higher than from 2017-2022 (18.55%) due to rapid urbanization and agricultural expansion driven by increased tourism and population growth in 2014-2015 (Figure 5). The construction of new residential areas and tourist facilities accelerated the conversion of natural areas into agricultural and urban uses. The 2018 earthquake caused significant land use changes, and the slower rate during 2017-2022 can be attributed to post-earthquake reconstruction and the COVID-19 pandemic, which restricted activities and slowed economic and social activities. Despite the slowdown in LULC changes in Lombok, it is essential to address the challenges of controlling and monitoring the environmental dynamics associated with these changes.

Government policies in West Nusa Tenggara (WNT) province have significantly impacted LULC changes in Lombok. The Green WNT Movement aims to restore degraded lands and improve land management, involving various stakeholders to reforest approximately 77,760 hectares by 2023 (DLHK NTB, 2021). However, rapid urbanization in cities like Mataram increases demand for housing and infrastructure, leading to the conversion of agricultural and natural lands into urban areas, contributing to deforestation and landscape fragmentation. Informal settlements spread unchecked due to high housing costs, adding pressure on natural resources and reducing the effectiveness of reforestation efforts (Bohensky et al., 2016; Gokarn et al., 2023).

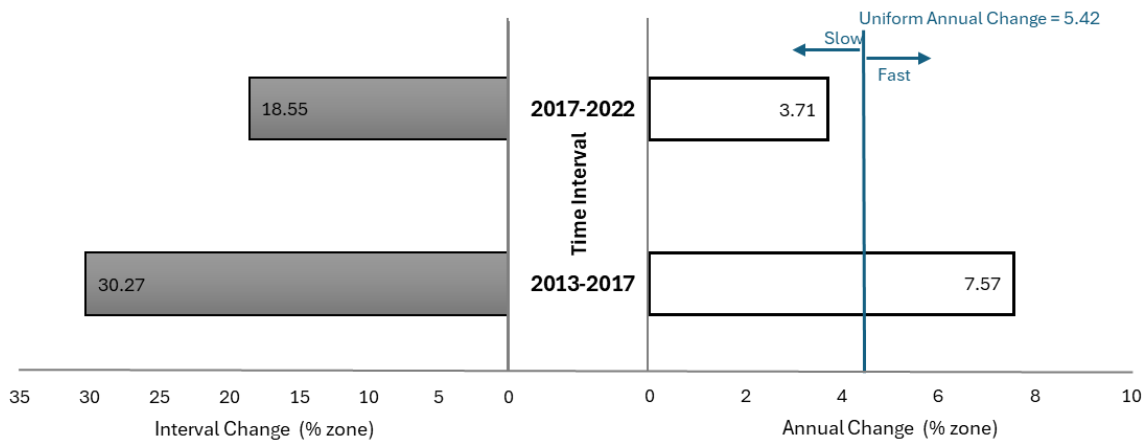


Figure 5. Intensity analysis interval level

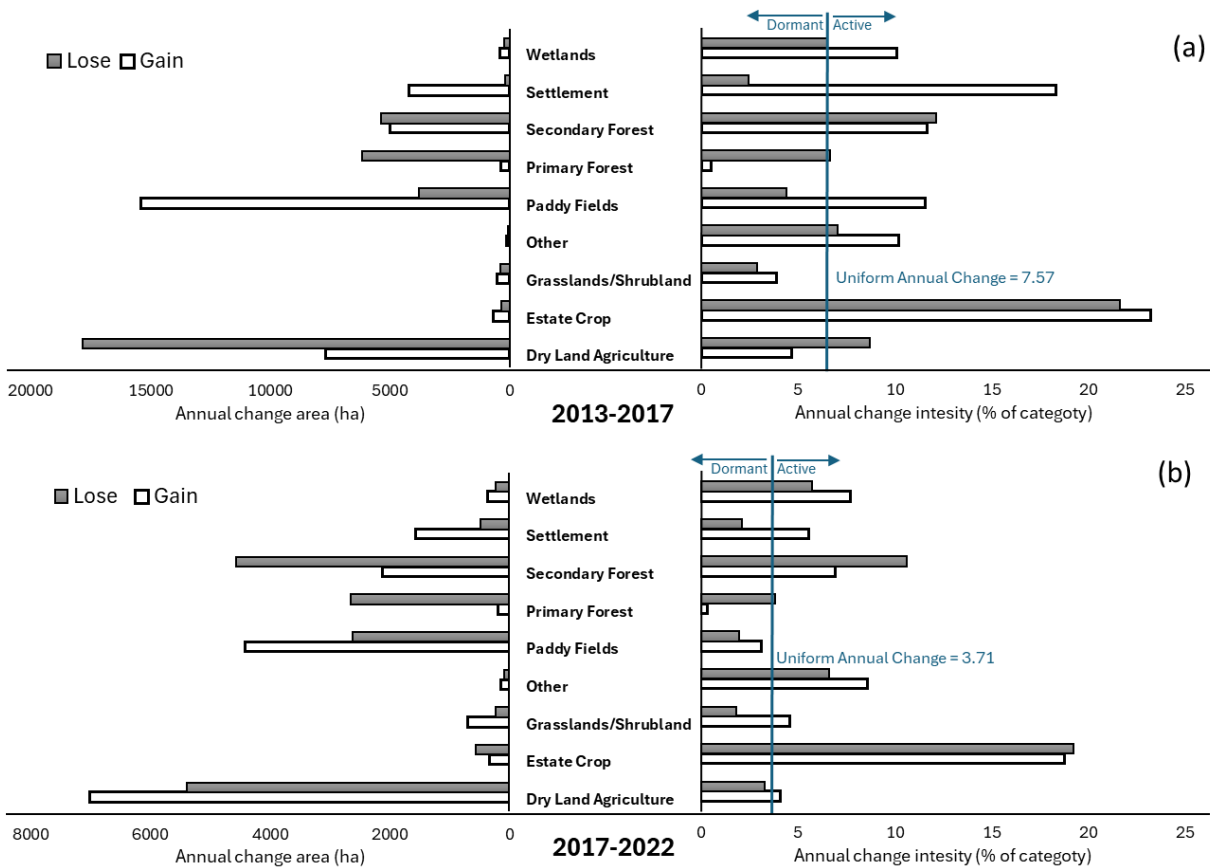


Figure 6. Intensity analysis of category level a)2017-2022 years, b) 2013-2017 years

The intensity analysis of category changes reveals variations in growth and decline rates across different time periods. During the 2013-2017 period, there was a significant increase in the Paddy Fields category, likely due to the expansion of rice cultivation or changes in agricultural practices (Figure 6). Conversely, there was a notable decrease in the Dry Land Agriculture category, which could be attributed to the conversion of dry lands to other land uses such as residential development (Masril, 2018). Additionally,

the Secondary Forests category experienced significant losses, possibly due to deforestation activities (Sinurat and Arifien, 2021). On the other hand, during the 2017-2022 period, there was a substantial increase in the Estate Crops category, likely influenced by the expansion of commercial agriculture or changes in planting patterns. However, Secondary Forests showed a significant decline, which may be a result of ongoing deforestation activities or unsustainable land use practices. In both periods, the intensity

analysis indicates a more uniform pattern with lower uniform values during the 2017-2022 period. This suggests greater stability or regulation in land use during this period or conservation efforts implemented after the more significant changes recorded in the previous period (Gokarn et al., 2023; Masril, 2018; Sinurat and Arifien, 2021).

The transition intensity analysis for primary and secondary forests on Lombok Island reveals significant dynamics in land cover changes between 2013-2017 and 2017-2022 (Figure 7). During 2013-2017, primary forests experienced substantial transitions to dry land agriculture (1,204 hectares, intensity 0.73) and secondary forests (4,275 hectares, intensity 9.97). In 2017-2022, these transitions significantly decreased to 622 hectares (intensity 0.36) and 1,516 hectares (intensity 4.95), respectively, indicating effective deforestation prevention efforts. Similarly, transitions from secondary forests to dry land agriculture decreased from 568 hectares (intensity 0.28) to 446 hectares (intensity 0.27). Transitions from primary to secondary forests also dropped from 4,275 hectares (intensity 4.60) to 1,516 hectares (intensity 2.18). This analysis suggests a more stable and reduced frequency of land cover changes in 2017-2022, likely due to improved land management practices such as the Green WNT Movement's reforestation efforts. However, the pressures from ongoing urbanization and agricultural expansion continue to pose challenges to Lombok's forest ecosystems.

The transition intensity data for Dry Land Agriculture, Plantation, and Paddy Fields from 2013 to 2022 highlight significant land cover changes in Lombok driven by socio-economic factors (Figure 8). From 2013 to 2017, Dry Land Agriculture saw notable transitions from Secondary Forests

(568 transitions, intensity 0.28) and Primary Forests (1,203 transitions, intensity 1.29), reflecting an expansion to support the growing population and tourism. This trend reduced from 2017 to 2022, suggesting regulatory measures or sustainable development policies mitigated land conversion pressures. Similarly, Paddy Fields experienced high transitions from Dry Land Agriculture (14,975 transitions, intensity 7.32) from 2013 to 2017, with a decline in intensity by 2022, indicating improved land management or a focus on other economic activities like tourism. Lombok's urbanization and development as a tourism zone have significantly impacted land use patterns, contributing to these transitions. Projects like the Mandalika Urban Tourism and Development Project have boosted economic growth but also present social and environmental impacts (Just Finance, 2023; The Diplomat, 2023).

From 2013 to 2017, there were notable transitions from Dry Land Agriculture to Grassland/Shrubland, indicating agricultural expansion, which decreased slightly during 2017-2022 (Figure 9). The "Other" category showed significant transitions from Grassland/Shrubland and Wetlands, likely due to urban and infrastructural developments. Settlement areas experienced high transition intensities from Dry Land Agriculture, reflecting Lombok's urbanization through projects like the Mandalika Urban Tourism Project. Wetlands showed shifts towards conservation, though development pressures persist. These dynamics underscore the complex interaction between development and ecological preservation, necessitating careful land management to balance growth with ecological protection.

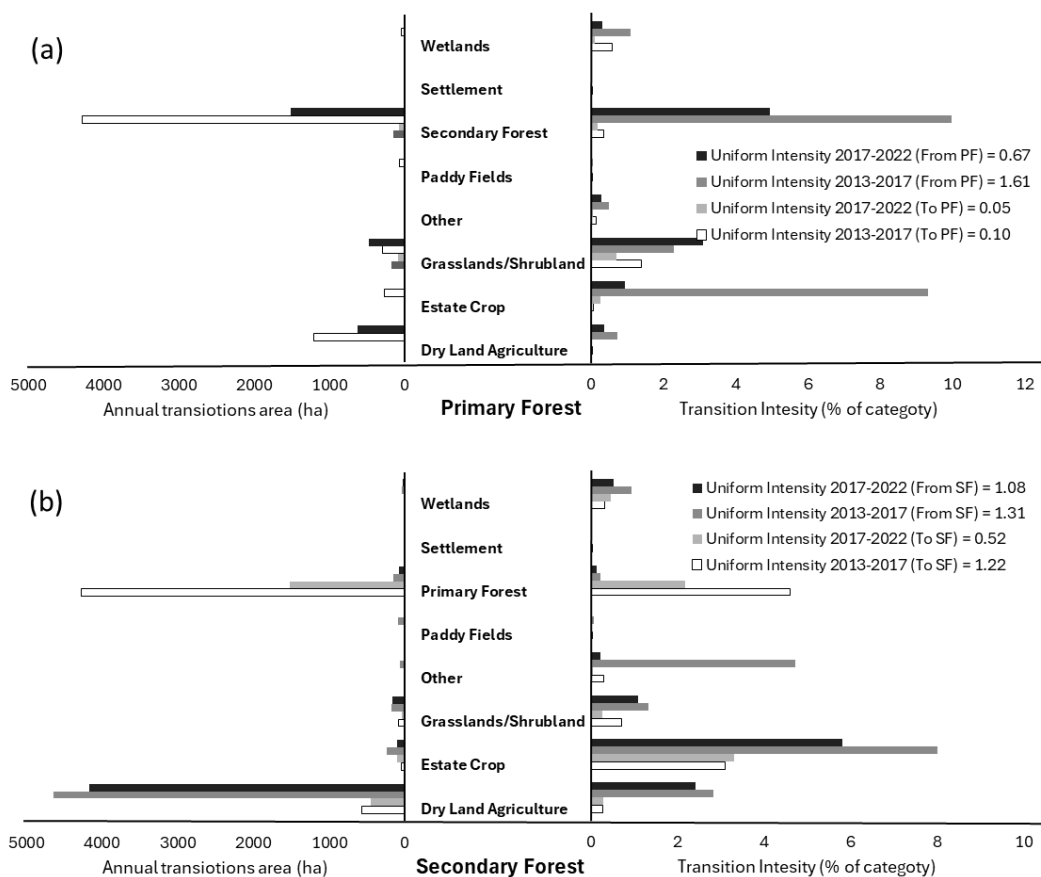


Figure 7. Intensity analysis transition level: a) primary forest b) secondary forest

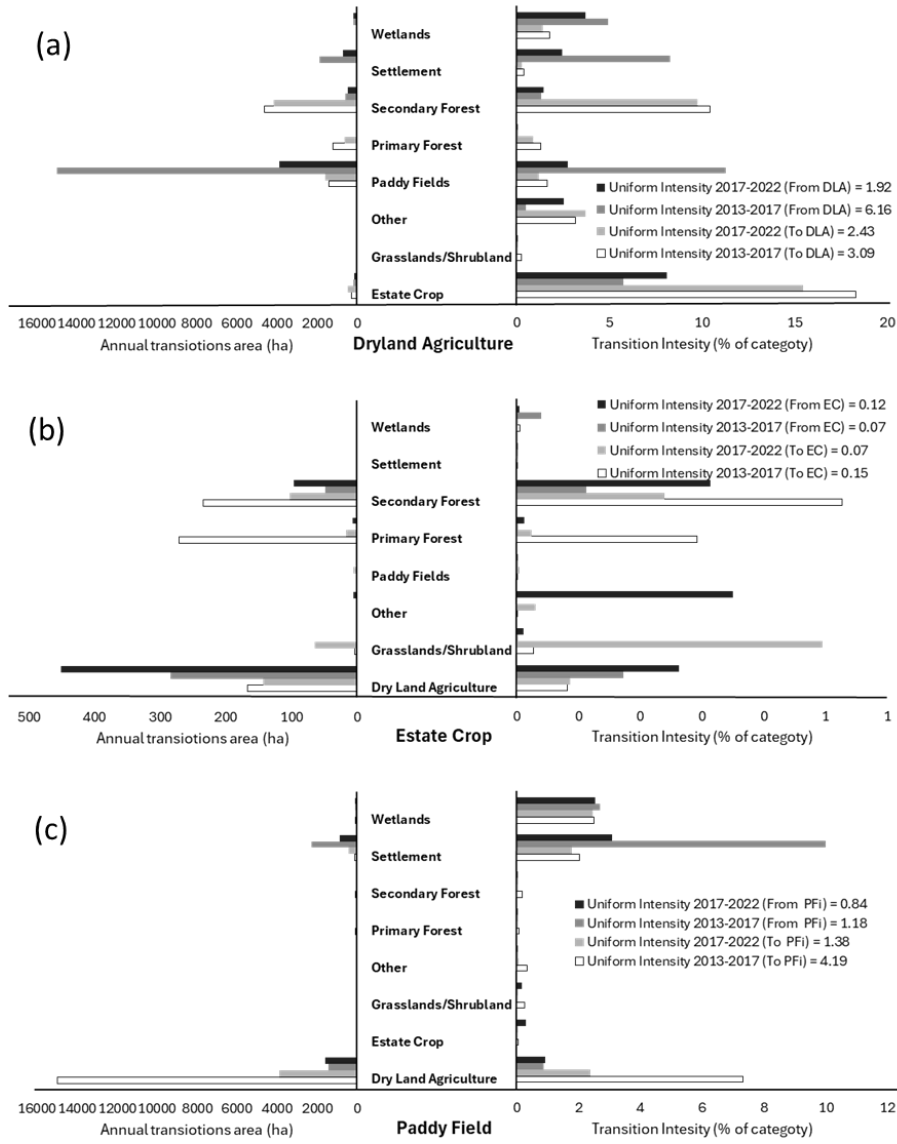


Figure 8. Intensity analysis transition level: a) dryland agriculture b) estate crop c) paddy fields

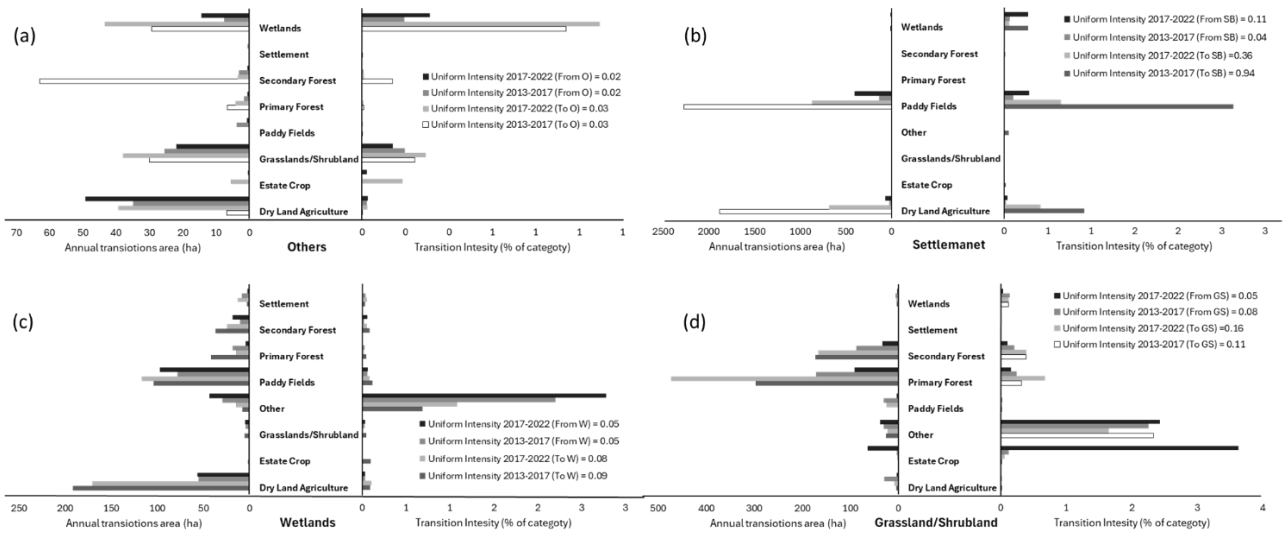


Figure 9. Density analysis transition level: a) others b) settlement c) wetlands d) grasslands/shrublands

The transition matrix of land use and land cover from 2013 to 2022 (Table 2) for Lombok Island highlights significant dynamics and changes driven by socio-economic factors. Dry land agriculture in 2013 saw a substantial conversion into paddy fields (68,671 ha) and settlements (10,843 ha) by 2022, reflecting the growing demand for agricultural land and urban expansion. Primary forests, initially covering 14826 ha, experienced significant reduction, transforming into secondary forests (17,838 ha) and paddy fields (333 ha), indicative of deforestation and agricultural encroachment. Grasslands/Shrublands largely persisted but also transitioned into other categories such as paddy fields (75 ha) and primary forests (440 ha), suggesting shifts in land use priorities. These transitions illustrate the impact of agricultural expansion, urbanization, and infrastructure development on Lombok's land cover.

3.2. LULC Trajectories

Yearly changes in land cover dynamics indicate complex alterations in the structure and composition of the study area. Primary and secondary forests tend to remain stable or experience minor changes annually, but transitions between these categories suggest changes in forest sustainability. Data shows primary forests converting to secondary forests and other categories, indicating degradation (Figure 10). Significant shifts towards more intensively used lands like dryland agriculture, paddy fields, plantations, and settlements are notable. From 2017 to 2022, there was a marked increase

in land use for dryland agriculture and settlements, reflecting economic and social dynamics driven by population growth and development policies. These changes often occur at the expense of forest land, negatively impacting environmental sustainability.

Studies on deforestation in Indonesia support these findings (Miettinen et al., 2011) identify agricultural and plantation conversions as primary deforestation drivers in Southeast Asia, including Indonesia. Significant declines in primary natural forests from 2000–2012 due to conversions for plantations and agriculture (Margono et al., 2014). These land use changes do not always align with the policies in the West Nusa Tenggara Province Spatial Plan 2009-2029 (Regional Regulation of West Nusa Tenggara Number 3, 2010). Despite emphasizing optimal, balanced, and sustainable spatial planning, the dynamics of land use change highlight challenges in policy implementation. The significant shifts towards intensive agriculture and settlements suggest that economic development often outweighs environmental and sustainability concerns. This indicates the need for a more holistic and sustainable approach to ensure economic growth does not compromise long-term environmental sustainability. These findings underscore the importance of stricter policy oversight and enforcement to balance economic development and environmental conservation.

Table 2. LULC Transition Matrix from 2013 to 2022

LULC class in 2013	LULC class in 2022									
	Dry Land Agriculture (ha)	Estate Crop (ha)	Grasslands/Shrubland (ha)	Other (ha)	Paddy Fields (ha)	Primer Forests (ha)	Seconder Forests (ha)	Settlement (ha)	Wetlands (ha)	
Dry Land Agriculture	121561	683	56	121	68671	5	1402	10843	1196	
Estate Crop	1163	20	1	0	5	1	331	31	3	
Grasslands/Shrubland	111	295	11072	206	75	440	134	2	21	
Other	172	5	104	771	11	2	1	3	26	
Paddy Fields	3476	22	4	0	71254	1	21	11015	496	
Primer Forests	14826	157	2829	15	333	56608	17838	29	283	
Seconder Forests	30620	578	1184	177	379	223	10830	111	276	
Settlement	41	0	0	1	581	0	1	6055	24	
Wetlands	192	1	22	270	298	35	80	22	2173	

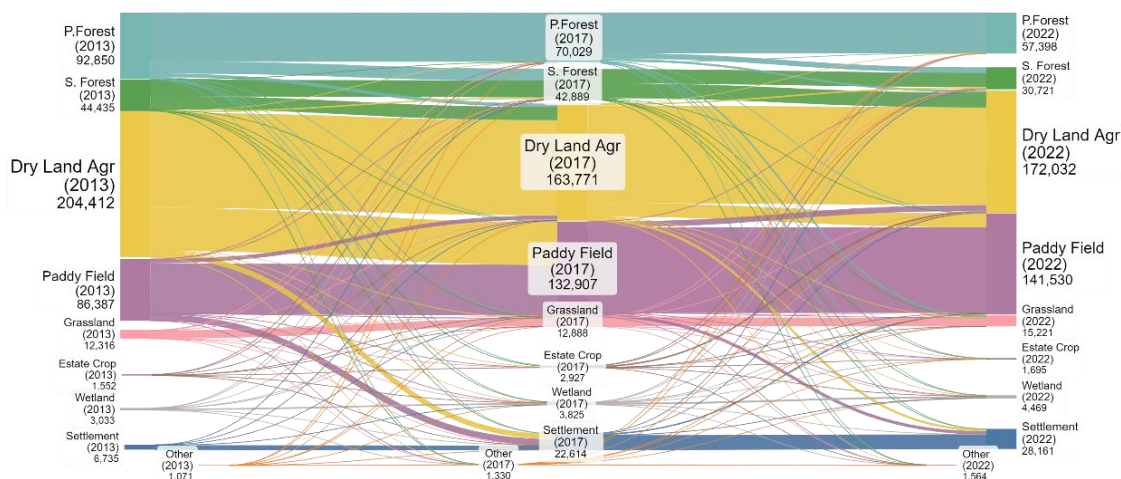


Figure 10. Lombok's land use/land cover trajectories

The Sankey diagram (Figure 11) details how primary and secondary forest cover in Lombok transitions into various land use classes. The diagram illustrates these changes based on sample points. In 2013, most primary forests remained in their class. However, by 2017, a small portion had shifted to secondary forests, dryland agriculture, paddy fields, grasslands, plantations, wetlands, settlements, and other categories. By 2022, much of the primary forest that had changed in 2017 remained as primary forest, though some continued to transition to other classes. This data shows the

dynamic nature of forest land use changes over the years, highlighting both conversions to more intensive land uses and restorations to more natural uses. This transition is crucial for understanding Aboveground Biomass (AGB) dynamics, as different land uses can significantly alter AGB, accurate AGB equations are essential for assessing carbon sequestration potential, with land use changes affecting biomass distribution among foliage, branches, and stems (Eker et al., 2017).

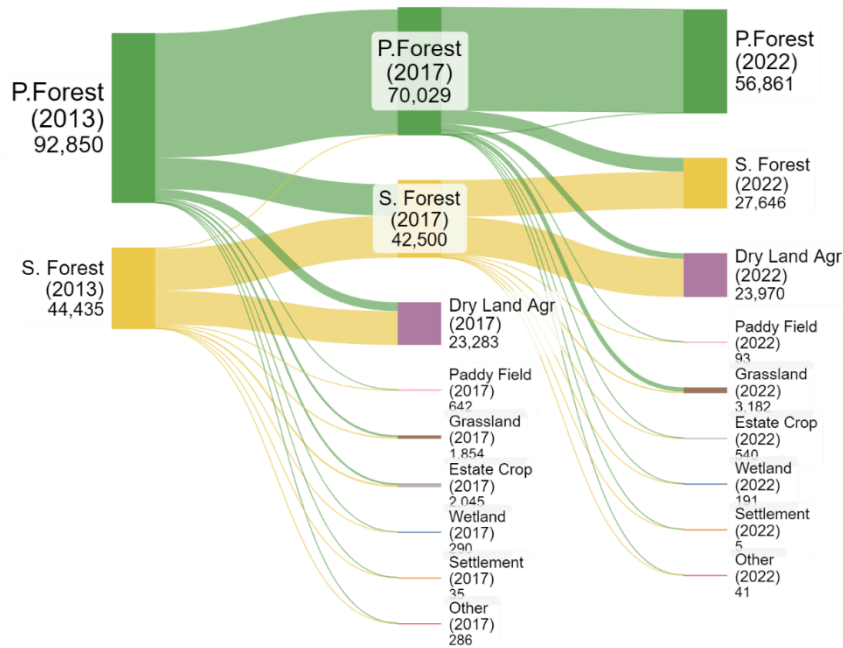


Figure 11. Direction and intensity of changes in forest classes

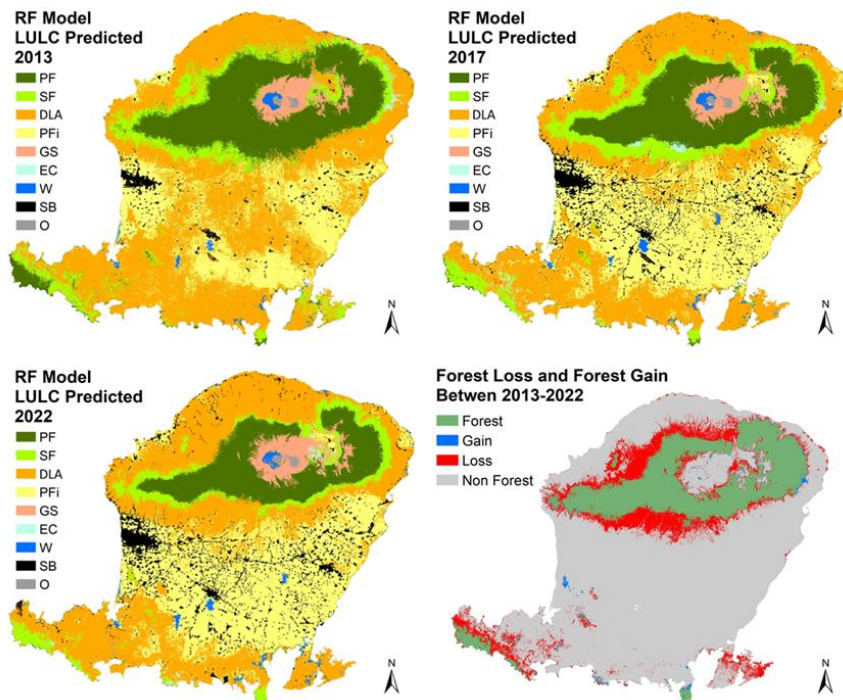


Figure 12. Temporal change of land use/land cover classes generated by Random Forest Algorithm a) 2013, b) 2017, c) 2022 and d) changes in forest areas between 2013-2022

During the period 2013-2022, forest loss amounted to 28095 ha, representing 24% of the total forest area (Figure 12). This loss was largely due to the conversion of primary and secondary forests to dry agricultural land, as well as other land uses. At the same time, there was a small increase in forest cover of 2,453 hectares, indicating reforestation and rehabilitation efforts, but not yet able to offset the rate of deforestation. The trajectory of forest cover change on Lombok Island reflects a complex interaction between various factors, including environmental policies, socio-economic dynamics, and natural disaster events. In recent years, primary forest conservation and rehabilitation policies have been strengthened to maintain ecosystem sustainability. However, rapid economic growth and urbanization have driven the conversion of forest land into residential areas and commercial infrastructure (Markum and Rahman, 2024). Natural disaster events such as the Lombok earthquake in 2018 have also had an impact on forest cover, with damage and land use changes occurring in the affected areas (Latifah et al., 2020). To face these challenges, a holistic approach that considers environmental sustainability, socio-economic needs, and disaster risk mitigation is needed in the management of forest cover on Lombok Island.

4. Conclusions

Regarding land cover dynamics in Lombok Island from 2013 to 2022, the data shows significant forest loss compared to forest gain. This reflects the substantial pressure on the island's forest ecosystems due to land use changes, urbanization, and population growth. Infrastructure development activities, such as road construction, also have the potential to accelerate land cover changes. The combination of data analysis and field research findings provides a more comprehensive understanding of the complex dynamics of land cover change in Lombok Island. This information is crucial for designing sustainable conservation and management policies to protect the island's ecosystems and biodiversity in the long term. Additionally, the scale of land cover change during the period is notable, with significant forest loss (28,095 ha, 24% of the total forest area) from 2013 to 2022 due to urbanization, population growth and infrastructure development. The distribution of LULC classes in Lombok showed that dry land agriculture (27.56%) and paddy fields (24.22%) cover the largest areas, followed by primary forest (13%) and secondary forest (7.68%). This highlights the need for sustainable conservation and management policies. Recommendations include implementing strict land use regulations, promoting reforestation programs, monitoring urban expansion, encouraging sustainable agricultural practices, raising environmental awareness, and enhancing policy enforcement. Utilizing advanced technologies for real-time monitoring and supporting continuous research can further aid in protecting Lombok's forest ecosystems and balancing development with ecological preservation.

Acknowledgement

This study is derived from the Master's Thesis named "Assessing factors driving land use/land cover classes using machine learning, case study of Lombok Island-Indonesia" in the department of Forest Engineering, Institute of Graduate Education, Isparta

University of Applied Sciences. Special thanks go to the Saujana Climate Community for their invaluable support and contributions throughout this research. Your assistance has been instrumental in ensuring the successful completion of this study.

References

- Akodéwou, A., Oszwald, J., Saïdi, S., Gazull, L., Akpavi, S., Akpagana, K., Gond, V., 2020. Land use and land cover dynamics analysis of the Togodo protected area and its surroundings in Southeastern Togo, West Africa. *Sustainability*, 12(13): 5439. <https://doi.org/10.3390/SU12135439>.
- Bohensky, E.L., Kirono, D.G.C., Butler, J.R.A., Rochester, W., Habibi, P., Handayani, T., Yanuartati, Y., 2016. Climate knowledge cultures: Stakeholder perspectives on change and adaptation in Nusa Tenggara Barat, Indonesia. *Climate Risk Management*, 12: 17–31. <https://doi.org/10.1016/J.CRM.2015.11.004>.
- Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1): 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324/METRICS>.
- Çoban, H.O., 2009. Bilgisayar destekli konusal orman haritalarının üretilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 5(2):83-96. <https://doi.org/10.18182/TJF.93497>.
- Das, S., Angadi, D.P., 2022. Land use land cover change detection and monitoring of urban growth using remote sensing and GIS techniques: a micro-level study. *GeoJournal*, 87(3): 2101–2123. <https://doi.org/10.1007/S10708-020-10359-1/METRICS>.
- Das, T.K., Barik, D.K., Kumar, K.V.G.R., 2022. Land use land cover prediction from satellite images using machine learning techniques. *International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing*, 26-27 May 2022, Faridabad, India, 338-343. <https://doi.org/10.1109/COM-IT-CON54601.2022.9850602>.
- P.1-VII-IPSDH, 2015. PERDIRJEN of Forestry Planning No. P.1-VII-IPSDH-2015 Regarding land cover monitoring guidelines, Jakarta, Indonesia.
- DLHK NTB, 2021. Lestari NTB Hijau. <https://lestari.ntbprov.go.id/ntb-hijau>, Accessed: 22.05.2023.
- Edith, B., Xue, B., 2020. A review of influences of land use and land cover change on ecosystems. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 44(5): 543. <https://doi.org/10.17521/CJPE.2020.0071>
- Eker, M., Poudel, K.P., Özçelik, R., 2017. Aboveground biomass equations for small trees of Brutian pine in Turkey to facilitate harvesting and management. *Forests*, 8(12):477. <https://doi.org/10.3390/F8120477>.
- Gokarn, K., Steingrube, A., Sen, R., 2023. Local strategies towards 100% renewable energy cities and regions for West Nusa Tenggara, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2nd ASEAN International Conference on Energy and Environment*, 13-15 September 2022, Phnom Penh, Cambodia. 1199(1): 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1199/1/012009>.
- Gong, W., Duan, X., Mao, M., Hu, J., Sun, Y., Wu, G., Zhang, Y., Xie, Y., Qiu, X., Rao, X., Liu, T., Liu, T., 2022. Assessing the impact of land use and changes in land cover related to carbon storage by linking trajectory analysis and InVEST models in the Nandu River Basin on Hainan Island in China. *Frontiers in Environmental Science*, 10: 1038752. <https://doi.org/10.3389/FENV.2022.1038752/BIBTEX>.
- Huang, B., Huang, J., Gilmore Pontius, R., Tu, Z., 2018. Comparison of Intensity Analysis and the land use dynamic degrees to measure land changes outside versus inside the coastal zone of Longhai, China. *Ecological Indicators*, 89: 336–347. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.12.057>.

- Just Finance, 2023. If it is detrimental to communities, then what is development for the Human Rights and Socio-Economic Impacts of the Mandalika Urban Tourism and Development Project, Just Finance International. <https://justfinanceinternational.org/2023/04/13/if-it-is-detrimental-to-communities-then-what-is-development-for-the-human-rights-and-socio-economic-impacts-of-the-mandalika-urban-tourism-and-development-project/> Accessed: 22.05.2023.
- Karimov, Y., Musaev, I., Mirzababayeva, S., Abobakirova, Z., Umarov, S., Mirzaeva, Z., 2023. Land use and land cover change dynamics of Uzbekistan: a review. *E3S Web of Conferences*, 421: 03007. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202342103007>
- Kim, C., 2016. Land use classification and land use change analysis using satellite images in Lombok Island, Indonesia. *Forest Science and Technology*, 12(4): 183–191. <https://doi.org/10.1080/21580103.2016.1147498>
- Latifah, S., Idris, M.H., Firdaus, R.S., Valentino, N., Hidayati, E., nuraini, nuraini, Putra, T.Z., 2020. Vegetation characteristics and carbon stocks after earthquake in forest for specific purpose (Khdtk) Senaru. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 17(2): 173–189. <https://doi.org/10.20886/JPHKA.2020.17.2.173-189>
- Mariye, M., Jianhua, L., Maryo, M., 2022. Land use land cover change analysis and detection of its drivers using geospatial techniques: a case of south-central Ethiopia. *All Earth*, 34(1): 309–332. <https://doi.org/10.1080/27669645.2022.2139023>
- Markum, Rahman, F.A., 2024. Surface runoff in varying forest cover types in Jangkok Watershed, Lombok Island, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(2): 753–761. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D250235>.
- Margono, B., Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M.C., 2014. Primary forest cover loss in Indonesia over 2000–2012. *Nature Clim Change* 4, 730–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate2277>.
- Masril, B.L., 2018. Analysis of land use of agricultural sector in improving GRDP of East Lombok Regency, Indonesia. *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education*, 2(1): 108–114. <https://doi.org/10.24036/SJDGGE.V2I1.122>.
- Miettinen, J., Shi, C., Liew, S.C., 2011. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*, 17(7): 2261–2270. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2486.2011.02398.X>
- Mugiraneza, T., Nascetti, A., Ban, Y., 2020. Continuous monitoring of urban land cover change trajectories with Landsat time series and land trendr-google earth engine cloud computing. *Remote Sensing*, 12(18): 2883. <https://doi.org/10.3390/RS12182883>.
- Ouedraogo, V., Hackman, K. O., Thiel, M., Dukiya, J., 2023. Intensity analysis for urban land use/land cover dynamics characterization of Ouagadougou and Bobo-Dioulasso in Burkina Faso. *Land*, 12(5): 1063. <https://doi.org/10.3390/LAND12051063>.
- Regional Regulation of West Nusa Tenggara Number 3, 2010. The Regional Spatial Plan of West Nusa Tenggara Province 2009-2029, Mataram, Indonesia.
- Purnama, M.I., Jaya, I.N.S., Syaufina, L., Çoban, H.O., Raihan, M., 2024. Predicting forest fire vulnerability using machine learning approaches in the Mediterranean Region: a case study of Türkiye. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science: The 4th International Conference on Tropical Silviculture*, 24 August 2023, Bogor, Indonesia, 1315(1): 12056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1315/1/012056>.
- Quan, B., Pontius, R.G., Song, H., 2020. Intensity Analysis to communicate land change during three time intervals in two regions of Quanzhou City, China. *GIScience & Remote Sensing*, 57(1): 21–36. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1658420>
- Rawat, J.S., Kumar, M., 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1): 77–84. <https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2015.02.002>.
- Rijal, S., Mutmainnah, I., Nursaputra, M., Chairil, A., 2023. Deforestation vulnerability based administrative boundary and forest area in Nusa Tenggara, Indonesia. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science: 3rd Biennial Conference of Tropical Biodiversity*, 08-09 August 2023, Makassar, Indonesia, 1277(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1277/1/012018>.
- Sameer, M.K., Hamid, A.M., 2023. Remote sensing and GIS techniques in monitoring land use land cover change. *International Journal of Sustainable Construction Engineering Technology*, 14(1): 13–20. <https://doi.org/10.30880/IJSCET.2023.14.01.002>.
- Sinurat, J., Arifien, Y., 2021. Economic growth and deforestation: a study of changes in land coverage in West Nusa Tenggara Province. *Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Humanities and Social Sciences*, 18 November 2020, Magelang, Central Java, Indonesia <https://doi.org/10.4108/EAI.18-11-2020.2311708>.
- The Diplomat, 2023. Indonesia's Mandalika Project Reveals the Dark Side of AIIB Lending. *The Diplomat*. <https://thediplomat.com/2023/06/indonesias-mandalika-project-reveals-the-dark-side-of-aiib-lending/>, Accessed: 22.05.2023.
- Van der Laan, C., Budiman, A., Versteegen, J.A., Dekker, S.C., Effendy, W., Faaij, A.P.C., Kusuma, A.D., Verweij, P.A., 2018. Analyses of land cover change trajectories leading to tropical forest loss: illustrated for the West Kutai and Mahakam Ulu Districts, East Kalimantan, Indonesia. *Land*, 7(3): 108. <https://doi.org/10.3390/LAND7030108>.
- Zhou, Q., Li, B., Kurban, A., 2008. Spatial pattern analysis of land cover change trajectories in Tarim Basin, northwest China. *International Journal of Remote Sensing*, 29(19): 5495–5509. <https://doi.org/10.1080/01431160802060938>
- Zioti, F., Ferreira, K.R., Queiroz, G.R., Neves, A.K., Carlos, F. M., Souza, F.C., Santos, L.A., Simoes, R.E.O., 2022. A platform for land use and land cover data integration and trajectory analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 106: 102655. <https://doi.org/10.1016/J.JAG.2021.102655>

A new approach to the ecotourism potential of Yusufeli district within the framework of AHP-SWOT

İnci Zeynep Yılmaz^{a,*} , Ufuk Demirci^a 

Abstract: In this study, it is aimed to determine what can be realized in the scope of ecotourism in Yusufeli district of Artvin, which has moved to a new settlement. For this purpose, A'WOT analysis, in which SWOT analysis and AHP method are used together, was used in the study. In this context, firstly, a SWOT matrix was formed with the support of the relevant literature. In order to determine the degree of importance of the matrix factors, the AHP method was used and the opinions of local tour agencies, academicians, NGOs, local administrators in the region and managers at the Yusufeli Forest Management Directorate who live in Yusufeli district or have information about Yusufeli district were obtained. According to the results of the study, while the strengths of Yusufeli district are the presence of places with magnificent natural beauty, the presence of places that will serve the belief and cultural heritage with historical importance and the presence of places based on river tourism (rafting, canoeing, boat tours, etc.) (33.3%); the weakest aspect is lack of activities for activities such as accommodation, pensions, restaurants, tour trips, etc. due to the relocation to a new settlement and the lack of related promotions (59.4%). In addition, the fact that Yusufeli district allows different ecotourism activities (41.3%) is seen as the biggest opportunity, while the relocation of the old Yusufeli district to another place due to dam construction (41.3%) is seen as the biggest threat.

Keywords: Yusufeli, SWOT analysis, AHP method, A'WOT analysis, Ecotourism

Yusufeli ilçesi'nin ekoturizm potansiyeline AHP-SWOT çerçevesinde yeni bir yaklaşım

Öz: Bu çalışmada, yeni yerleşim yerine taşınmış olan Artvin'in Yusufeli ilçesinde ekoturizm kapsamında neler yapılabileceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışmada SWOT analizi ve AHP yönteminin birlikte kullanıldığı A'WOT analizi kullanılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle ilgili literatür desteği ile Yusufeli ilçesinin mevcut durumuna yönelik SWOT matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan matris faktörlerinin önem derecelerinin belirlenmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile Yusufeli ilçesinde yaşayan/bilen yerel tur acentaları, akademisyenler, STK, bölgedeki yerel yönetimlerin ilgili birimleri ve Yusufeli Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki ilgili kişilerin görüşlerine sunulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, Yusufeli ilçesinin en güçlü yönleri olarak muhteşem doğal güzeleğe sahip yerlerin bulunması, tarihi öneme sahip inanç ve kültür mirasına hizmet edecek yerlerin bulunması ve akarsu turizmine dayalı yerlerin bulunması (rafting, kano, tekne turu vb.) (%33.3) iken; en zayıf yönü yeni yerleşim yerine taşınmasından kaynaklı konaklama, pansiyon, restoran, tur gezileri vb. faaliyetlere yönelik faaliyetlerin olmaması ve buna bağlı tanıtımların yapılamaması (%59.4) olarak belirtilmiştir. Ayrıca Yusufeli ilçesinin farklı ekoturizm faaliyetlerine imkân vermesi (%41.3) en büyük fırsat olarak görülürken; eski Yusufeli ilçesinin baraj nedeniyle su altında kalması nedeniyle ilçe merkezinin başka bir yere taşınması da (%41.3) en büyük tehdit olarak görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Yusufeli, SWOT analizi, AHP yöntemi, A'WOT analizi, Ekoturizm

1. Introduction

Recently, as a result of changes in people's expectations and lifestyles, their demands for tourism activities have also changed. Especially with the COVID-19 period, significant differences have been observed in people's understanding of tourism and as a result, tourism activities for natural areas have become more popular. In tourism, natural areas have positive environmental and socio-cultural impacts and are also economically important due to their contribution to the balance of payments, investments, employment and development. With the increase in demand for tourism, the demand for new types of tourism has recently started to

increase with the efforts of product diversification and people's search for various innovations. One of these tourism types is ecotourism.

The International Ecotourism Society defines ecotourism as "responsible travel to natural areas that conserves the environment, sustains the well-being of the local people, and involves interpretation and education" (TIES, 2023).

In terms of ecotourism, Türkiye has an important place in the world with its geopolitical position, rich geography and cultural richness. In Türkiye, the Eastern Black Sea Region is a very popular and remarkable region in terms of ecotourism compared to other regions. Yusufeli district of Artvin

✉ ^a Artvin Coruh University, Faculty of Forestry, Department of Forest Economics, Artvin

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): iza@artvin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 24.08.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 03.12.2024



Citation (Atf): Yılmaz, İ.Z., Demirci, U., 2024. A new approach to the ecotourism potential of Yusufeli district within the framework of AHP-SWOT. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 459-465.
DOI: [10.18182/tjf.1537765](https://doi.org/10.18182/tjf.1537765)

province is one of the prominent destinations with its natural and cultural richness.

With its existing potential natural and cultural resources, Yusufeli district is a center of interest for both local people and domestic and foreign tourists (Surat et al., 2015). However, despite its natural and cultural richness in terms of tourism, the development of tourism activities is hampered by the economic poverty, employment problems, rural migration, inadequacies in agricultural production and the intensity of uncertainties in the tourism-mining-industry sectors due to the relocation to a new settlement (Küçükbaşol, 2015; Dama and Yılmaz, 2020).

Yusufeli district was a center of attraction and opportunity in terms of ecotourism in its old settlement. However, with the construction of the dam, this opportunity has been hampered. In fact, the people of Yusufeli, who face settlement, infrastructure and transportation problems due to the relocation of the district center, are also struggling with economic difficulties. In this respect, it is important to focus on ecotourism activities as an alternative source of livelihood for the local people. This study was carried out in order to provide a solution to the economic problems of the local people in Yusufeli district and to determine what can be done within the scope of ecotourism activities (such as mountain, agricultural tourism, tableland tourism, trekking/nature walking, wildlife observation, flora tourism, river tourism).

In this study, A'WOT analysis, which is a hybrid method created by using SWOT analysis and AHP method together, was utilized. With the SWOT analysis of Yusufeli district, which has moved to a new settlement, it is aimed to determine the strengths and weaknesses of the district in terms of ecotourism, to recognize the existing threats in the area and to reveal the opportunities that the area has. Through SWOT analysis, it will be possible to plan and manage ecotourism activities more effectively. Afterwards, the priorities of the identified SWOT sub-factors were quantified. AHP method was utilized at this stage. The opinions of 16 experts were utilized for quantitative analysis. As a result, alternative strategies for the enrichment of Yusufeli district in terms of ecotourism were also developed. Therefore, this study is an important study in terms of both drawing attention to the problems in Yusufeli district and contributing to sustainable tourism planning and ecotourism.

2. Materials and methods

2.1. Material

In this study, which focuses on the evaluation of the ecotourism potential of Yusufeli district, which has moved to a new settlement, the opinions of local tour agencies, academicians, NGOs, relevant units of local governments in the region and Yusufeli Forest Management Directorate were utilized to provide the primary data needed. In addition, in this context, written publications such as books, journals, articles, papers, etc. that may be directly or indirectly related to the subject were examined and various A'WOT, SWOT and AHP application examples were accessed, and these sources were also utilized.

2.2. Description of the research area

In the study, Yusufeli district of Artvin province was selected as the research area. Yusufeli district is located in the

southwest of Artvin provincial center of Türkiye, the largest district of Artvin and a settlement with an area of approximately 2327 km² (Surat et al., 2015).

Yusufeli district is located within the boundaries of the Çoruh Valley, one of the richest natural vegetation diversity areas in Türkiye. The Çoruh Valley is classified by the World Wildlife Fund (WWF) as one of the world's 34 hotspots, as one of the 200 priority ecoregions of the temperate forests of the Caucasus, and as one of the 217 priority bird protection areas of Birdlife International (Demirel, 1997).

Within the borders of Yusufeli district is the Çoruh River, one of the fastest flowing rivers in Türkiye, and there are many places along the river that offer hiking and nature exploration opportunities. Other places with ecotourism potential include the Kaçkar Mountains in the west of the district, a paradise for nature lovers with its rich vegetation and wildlife, Barhal Valley, Çat Plateau, Yaylalar Village and Sarıgöl Plateau, which are famous for their natural beauty and historical buildings. It is very important to realize sustainable tourism planning to discover and protect these beauties and to support ecotourism activities in the district in order to create regional development and provide economic support.

However, after the completion of the Yusufeli Dam, the construction of which started in 2012, the district center was moved to another location in 2022.

2.3. Method

In the study, the AHP method was used together with SWOT analysis and A'WOT analysis was utilized, which facilitates the systematic evaluation of SWOT factors and supports strategic decision-making processes. However, sometimes SWOT analysis cannot provide quantitative data that will enable the quantitative analysis of the identified factors, and this is considered as an important limitation (Helms and Nixon, 2010; Nguyen and Truong, 2022). For this purpose, the most frequently preferred method in studies to eliminate this limitation is the AHP method and, in addition, A'WOT analysis, where AHP can be successfully applied with SWOT analysis (Yılmaz and Zorlu, 2018; Kişi, 2019; Zorlu and Yılmaz, 2020; Nyguyen and Truong, 2022; Türk, 2022).

The term A'WOT was first proposed in the literature by Kurttila et al. (2000). The term "A'WOT" is an advanced version, similar to the classical SWOT analysis, with A: Advantages (Strengths), W: Weaknesses, O: Opportunities and T: Threats. A'WOT analysis is an analysis that refers to the use of SWOT analysis as a mixed method by associating it with the AHP method and provides a more in-depth examination of these elements as well as a specific strategic objective (Kurttila et al., 2000; Shrestha et al., 2004). In other words, while SWOT analysis reveals the most important internal and external factors including the internal and external situation analysis of a country, region or organization; with A'WOT analysis, four SWOT groups and SWOT factors in each group are given numerical values, making the SWOT analysis results analytical, revealing what the values of internal and external factors are, and determining these numerical priorities with the AHP method, making them measurable and comparable with each other.

With the A'WOT analysis applied in the study, each SWOT factor and the selection alternatives within each SWOT factor can be evaluated. In the A'WOT method used for this purpose, the SWOT analysis is performed first, then

pairwise comparisons are made between the SWOT factors, the mutual importance of the evaluation factors within the SWOT factors is determined, and the strategy alternatives are evaluated according to each SWOT factor as in AHP and the overall priorities are calculated for the strategy alternatives in accordance with the general A'WOT decision hierarchy (Kurttila et al., 2000; Kangas et al., 2003; Kajanus et al., 2004; Yuksel and Dağdeviren, 2007; Demir et al., 2016; Arsić, 2018; Etongo et al., 2018).

2.3.1. SWOT Analysis

In the first stage of A'WOT analysis, SWOT analysis is required to establish the hierarchical structure. SWOT analysis is a management technique preferred to guide managers in strategic planning processes involving the analysis of the internal and external situation of a country, region or organization, and is an analysis method that requires systematic thinking and extensive research of the factors subject to analysis. These factors are divided into internal and external factors. Internal factors include strengths (S): factors that can lead forward and weaknesses (W): factors that can lead backward and make it difficult, while external factors include opportunities (O): factors that create favorable conditions for achieving a particular goal and threats (T): factors that create problems in achieving a particular goal, and these are classified into four groups (Kurttila et al., 2000; Kajanus et al., 2004; Ajmera, 2017; Kumar et al., 2017; Ervural et al., 2018).

In order to determine the evaluation factors by utilizing SWOT analysis, relevant evaluation factors were determined by reviewing the literature on the ecotourism activities of Yusufeli district (Tıraş, 2002; Sever and Kalm, 2011; Bakırcı, 2012; Yılmaz and Surat, 2015; Küçükbaşol, 2015; Surat et al., 2015; Bahçeli and Bay, 2017; Uzun, 2017; Surat, 2017; Türk and Erkan, 2018; Yıldız and Şengün, 2019; Dama, 2020; Torun, 2021; Polat, 2023).

Although a large number of evaluation factors were identified as a result of the literature review, the number of evaluation factors was limited due to the existence of pairwise comparisons in A'WOT analysis and the idea of moving away from the scope of the subject. For this purpose, the most demanding problems, opportunities, advantages and threats in Yusufeli district, which has moved to a new settlement, have been prioritized and the values that are related to each other in this direction have been combined as much as possible. In this way, 12 evaluation factors were identified, including 3 strengths, 3 weaknesses, 3 opportunities and 3 threats.

2.3.2. Analytic hierarchy process (AHP) Method

In the second phase of the A'WOT analysis, the AHP method based on pairwise comparison was preferred to determine the priority values of the evaluation factors. The

AHP method, developed by Thomas L. Saaty in 1996, is a structuring, measurement and synthesis method that facilitates the solution of multi-criteria decision-making problems, based on pairwise comparison and where the weights of the criteria are determined based on expert opinion (Saaty, 1996; 2004; 2008). This method lists criteria and sub-criteria by taking into account the interrelationships between factors and sub-factors (Niemira and Saaty, 2004).

Thus, in this study, the priorities and importance of the factors that are effective in evaluating the ecotourism potential of "New Yusufeli" district were determined by making a weighted prioritization of the evaluation factors. For this purpose, a questionnaire consisting of forty-seven pairwise comparison questions were prepared.

In the selection of the participants in this survey, people living in Yusufeli district and having knowledge about the area were selected and tour agencies, academics, NGOs, relevant units of local governments in the region and Yusufeli Forest Management Directorate were included in the prioritization process, resulting in interviews with 16 experts. While making evaluations according to the opinions of the relevant people, Saaty's recommended 1-9 scale was used (Saaty, 2004).

2.3.3. Calculation of priorities and inconsistencies of SWOT factors

At this step of the A'WOT analysis, it was determined that in similar studies (Tam and Tummala, 2001; Saaty, 2008; Şahin, 2017), in order to ensure consensus in the answers of the selected people and to reach a common structure in the answers, the geometric mean was taken as the basis for reaching a common structure in pairwise comparison questions and then the consistency ratios of each pairwise comparison matrix were calculated. Since the consistency ratio of all pairwise comparison judgments was less than 0.10 in the analyses, the stage of determining the priority values was started.

2.3.4. Evaluation of SWOT factors

In this last stage, IBM SPSS 29 statistics (IBM Corp., 2023) software was used for statistical analysis of the survey results and frequency and percentage ratios were used.

3. Results

3.1. SWOT Analysis of Yusufeli District

The evaluation factors determined as a result of the SWOT analysis carried out in order to reveal the current problems of Yusufeli district, which has moved to the new settlement in line with the literature review and expert opinions on the subject, and to emphasize the most frequently expressed situations in the region are shown in Table 1.

Table 1. SWOT analysis of Yusufeli district

Strengths		Weakness	
S1	Having places with magnificent natural beauty	W1	Lack of activities for activities such as accommodation, pensions, restaurants, tour trips, etc. due to the relocation to a new settlement and the lack of related promotions
S2	Having places that will serve faith and cultural heritage with historical importance	W2	The lack of cooperation and business culture among people/institutions/organizations related to tourism
S3	Having places based on river tourism (rafting, canoeing, boat tours, etc.)	W3	The promotion, awareness and scope of traditional festivals narrowed due to moving to a new settlement
Opportunities		Threats	
O1	Various universities, especially ACU, and public institutions and organizations such as the relevant district governorship and municipality attach importance to research, workshops and symposiums related to ecotourism and carry out related studies	T1	Relocation of the district center to another place due to the flooding of the old Yusufeli district due to the dam
O2	Having a high potential to compete with existing touristic places if technology is used wisely	T2	Inadequate access roads to places that are important for spiritual tourism
O3	Yusufeli district allows for different ecotourism activities	T3	Lack of awareness-raising and training activities on ecotourism issues due to moving to the new settlement

The experts participating in the study answered the SWOT groups specified in the scope of the SWOT analysis based on pairwise comparisons. After the SWOT analysis, the priority values of the SWOT groups were calculated. When the general priority values of the SWOT groups are analyzed, it is determined that the SWOT group with the highest priority is "Weaknesses" with a priority value of 0.605, followed by "Advantages" with a priority value of 0.284, and then "Opportunities" and "Threats" SWOT groups with equal priority values of 0.056. The average consistency ratio of the comparisons between the four SWOT groups was 0.062.

3.2. Strengths in Yusufeli District

The experts who participated in the study were asked to answer the advantages stated within the scope of the study based on pairwise comparisons and the results obtained are presented in Table 2.

Accordingly, among the 3 sub-factors presented to the experts, it was determined that the statements "Having places with magnificent natural beauty", "Having places that will serve belief and cultural heritage with historical importance" and "Having places based on river tourism (rafting, canoeing, boat tours, etc.)", which were stated as superiority, had an equal level of importance with a rate of 33.3%.

As can be seen, although Yusufeli district is in the process of moving to a new settlement, it has rich and remarkable features in terms of natural and historical beauties, although there are no job opportunities that can create added value and provide employment in the name of industrialization. There are remarkable botanical tourism areas in Yusufeli district, especially in Altıparmak, Kılıçkaya, Yaylalar Village and Tekkale plateaus. These areas are very suitable for river and mountain sports such as mountaineering, camping, trekking, hunting, rafting, etc. (Torun, 2021). However, after the construction of the dam, these riches were considered as idle capacity and no work could be carried out for these places.

In addition to this, before moving to the new settlement of Yusufeli district, there was 1 artificial river canoeing track on Altıparmak Stream and rafting activities on the Çoruh River and Altıparmak Stream and competitions could be organized by the federation in these areas; however, these areas were also flooded due to the dam. Bringing these areas into ecotourism is required.

3.3. Opportunities in Yusufeli District

The experts participating in the study were asked to answer the opportunities identified as a result of the SWOT analysis and specified within the scope of the study based on pairwise comparisons and the results obtained are presented in Table 3.

Accordingly, among the 3 sub-factors presented to them, the experts emphasized the statement "Yusufeli district allows for different ecotourism activities" with a rate of 41.3% as the first of the factors that are opportunities in Yusufeli district. An evaluation towards this determination was also determined by Bakırcı (2012). This statement was followed by the statements "Having a high potential to compete with existing touristic places if technology is used wisely" with a rate of 32.7% and "Various universities, especially AUC, and public institutions and organizations such as the relevant district governorship and municipality attach importance to research, workshops and symposiums related to ecotourism and carry out related studies" with a rate of 26%.

3.4. Weaknesses in Yusufeli District

The experts participating in the study were asked to answer the weaknesses identified as a result of SWOT analysis based on pairwise comparisons and the results obtained are presented in Table 4.

Table 2. Strengths according to SWOT and AHP analysis in Yusufeli district

Main factors	Sub-factors	Weights	%
Strengths	Having places with magnificent natural beauty	0.333	33.3
	Having places that will serve belief and cultural heritage with historical importance	0.333	33.3
	Having places based on river tourism (rafting, canoeing, boat tours, etc.)	0.333	33.3
CR: 0.0%			

Table 3. Opportunities according to SWOT and AHP analysis in Yusufeli district

Main factors	Sub-factors	Weights	%
Opportunities	Yusufeli district allows for different ecotourism activities	0.413	41.3
	Having a high potential to compete with existing touristic places if technology is used wisely	0.327	32.7
	Various universities, especially ACU, and public institutions and organizations such as the relevant district governorship and municipality attach importance to research, workshops and symposiums related to ecotourism and carry out related studies	0.026	26.0
CR: 5.6%			

Table 4. Weaknesses according to SWOT and AHP analysis in Yusufeli district

Main factors	Sub-factors	Weights	%
Weaknesses	Lack of activities for activities such as accommodation, pensions, restaurants, tour trips, etc. due to the relocation to a new settlement and the lack of related promotions	0.594	59.4
	The lack of cooperation and business culture among people/institutions/organizations related to tourism	0.249	24.9
	The promotion, awareness and scope of traditional festivals narrowed due to moving to a new settlement	0.157	15.7
CR: 5.6%			

Accordingly, among the 3 sub-factors presented to them, the experts ranked the factor “Lack of activities for activities such as accommodation, pensions, restaurants, tour trips, etc. due to the relocation to a new settlement and the lack of related promotions” in the first place with a rate of 59.4%, in the second place with a rate of 24.9%, the second factor was “The lack of cooperation and business culture among people/institutions/organizations related to tourism” and the third factor was “The promotion, awareness and scope of traditional festivals narrowed due to moving to a new settlement” with a rate of 15.7%.

The most important obstacle to the development of tourism activities in Yusufeli district is the problems arising from the relocation to a new settlement. Especially since the basic needs arising from the move to the new settlement are the problems of the local people, not much attention has been paid to changes and developments in terms of tourism. Therefore, no studies have been carried out to meet the needs of the tourists who will visit the area. In fact, there is no facility in the new Yusufeli district for accommodation facilities, which is one of the basic elements of touristic activities and one of the basic needs for a place to be visited, to increase the number of tourists and to ensure its development. Even the construction of accommodation facilities in the district before the construction of the dam has not yet started. Even the construction of accommodation facilities in the district before the dam construction has not yet started. Therefore, in the current situation, tourists do not come and economic gain cannot be achieved due to the lack of allocation of places for accommodation facilities. Again, the inability to realize festivals and festivals, which were of great importance before moving to the new settlement, is another problem, which is a weakness, in other words, a problem.

3.5. Threats in Yusufeli District

The experts answered the threats identified as a result of the SWOT analysis based on pairwise comparisons (Table 5).

Accordingly, among the 3 sub-factors presented to them, the experts stated that the current threats of Yusufeli district, which has moved to the new settlement, are “Relocation of the district center to another place due to the flooding of the old Yusufeli district due to the dam” with a rate of 41.3%, “Lack of awareness-raising and training activities on ecotourism issues due to moving to the new settlement” with a rate of 32.7% and “Inadequate access roads to places that are important for spiritual tourism” with a rate of 26%.

The problem of insufficient transportation to places that are important for spiritual tourism before moving to the new settlement of Yusufeli district continues to be multiplied in Yusufeli district, which has moved to the new settlement. Consequently, this situation leads to a decline in transportation activities, increased costs, delays in transportation infrastructure and failure to develop ecotourism. In addition, one of the reasons why ecotourism has not developed in Yusufeli district is that the business owners, staff and Yusufeli people did not have sufficient knowledge and awareness about touristic services and behaviors towards tourists and ecotourism before moving to the new settlement (Uzun, 2017; Surat, 2017).

3.6. Possible ecotourism activities in Yusufeli District

The experts who participated in the study answered the possible ecotourism activities identified as a result of the SWOT analysis based on pairwise comparisons (Table 6).

Table 5. Threats according to SWOT and AHP analysis in Yusufeli district

Main factors	Sub-factors	Weights	%
Threats	Relocation of the district center to another place due to the flooding of the old Yusufeli district due to the dam	0.413	41.3
	Lack of awareness-raising and training activities on ecotourism issues due to moving to the new settlement	0.327	32.7
	Inadequate access roads to places that are important for spiritual tourism	0.260	26.0
CR: 5.6%			

Table 6. List of possible ecotourism activities in Yusufeli district

Types of ecotourism	Weights	%
Festivals	0.204	20.4
Plateau tourism	0.169	16.9
Stream tourism	0.139	13.9
Faith/culture tourism	0.112	11.2
Nature walk	0.105	10.5
Mountaineering	0.085	8.5
Botanical tourism	0.063	6.3
Off-road	0.062	6.2
Bird/butterfly watching	0.060	6.0
CR: 3.9%		

According to these evaluations, festivals (20.4%), plateau tourism (16.9%), river tourism (13.9%), faith/cultural tourism (11.2%), trekking (10.5%), mountaineering (8.5%), botanical tourism (6.3%), off-road (6.2%) and bird/butterfly watching (6.0%) were listed as ecotourism types in order of importance (Table 6). These activities were also found to be the most preferred ecotourism types in various studies (Nayir, 2009; Kavak, 2015).

4. Discussion and conclusions

As a result of this research carried out in Yusufeli district, which has moved to a new settlement, it has been tried to reveal the strengths and weaknesses of Yusufeli district with SWOT analysis and the threats and opportunities it faces and to examine which of the existing ecotourism types can be done in parallel with this. The use of both SWOT and AHP methods in the evaluation of the ecotourism potential of Yusufeli has shed light on the strengths, weaknesses, opportunities and threats of the region.

According to the evaluations made; while the strongest aspects of Yusufeli district are the existence of places with magnificent natural beauty, the existence of places that will serve the belief and cultural heritage of historical importance and the existence of places based on river tourism (rafting, canoeing, boat tours, etc.) (33.3%); the weakest aspect is the lack of activities for activities such as accommodation, pensions, restaurants, tour trips etc. due to the relocation to the new settlement and the lack of related promotions (59.4%). In addition, the fact that Yusufeli district allows different ecotourism activities (41.3%) is seen as the biggest opportunity, while the relocation of the district center to another place due to the flooding of the old Yusufeli district due to the dam (41.3%) is seen as the biggest threat. In addition, it was determined that the most suitable ecotourism types for Yusufeli district can be realized with highland tourism and water-based ecotourism activities, while festivals should also be realized.

The results obtained from this study can be considered as a pioneering study for the ecotourism activities that will be carried out and are likely to be carried out in Yusufeli district, which has moved to a new settlement, and can be used as a

tool in determining mission, vision and goals. For this purpose, economic production should be realized urgently by utilizing the tourism sector, which is one of the sectors that will provide economic benefits to the district after the Yusufeli Dam.

Places of great natural beauty that support ecotourism activities in Yusufeli district, places of historical importance that will serve faith and cultural heritage, and places based on river tourism such as rafting, canoeing, boat tours etc. should be protected. In addition, decisions should be taken urgently to carry out ecotourism activities in these areas, technology should be used wisely, and public institutions and organizations such as the district governorship and municipality, with the support of Artvin Çoruh University, which is located within the borders of the province, should attach importance to research, workshops and symposiums related to ecotourism and carry out related studies.

In addition, the relocation of the district center to another place due to the flooding of Yusufeli district due to the dam, the still inadequate access roads to places that are important in terms of spiritual tourism, and the lack of awareness-raising and training activities on ecotourism issues due to the move to the new settlement have also paved the way for the lack of awareness of ecotourism in Yusufeli district.

In this sense, by evaluating the factors that support and weaken the ecotourism activities in Yusufeli district, the factors that represent the strengths of ecotourism in the district should be increased and the weaknesses should be strengthened by removing the obstacles to the development of ecotourism activities.

In addition, the following strategies can also be recommended for Yusufeli district, which has moved to a new settlement, to benefit from and strengthen its ecotourism potential opportunities:

- *Education and awareness raising programs:* Raising awareness of local people and visitors about ecotourism activities contributes to the protection of natural and cultural values in the region. Through education programs, local people can learn about the economic benefits of ecotourism.
- *Nature-themed events and festivals:* Nature-themed festivals and events can be organized to increase the attractiveness of ecotourism. Such events create a platform where local culture and nature merge.
- *Develop sustainable infrastructure:* To ensure the sustainability of ecotourism activities, infrastructure (accommodation, transportation, waste management) in the region should be improved, taking into account environmental impacts.
- *Promotion of local products:* Handicrafts, organic agricultural products and traditional cuisine specific to Yusufeli district should be introduced to visitors and contribute to the local economy.

References

- Ajmera, P., 2017. Ranking the strategies for Indian medical tourism sector through the integration of SWOT analysis and TOPSIS method. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 30(8): 668-679.
- Arsić, S., Nikolić, D., Mihajlović, I., Fedajev, A., Živković, Ž., 2018. A new approach within ANP-SWOT framework for prioritization of ecosystem management and case study of National Park Djerdap, Serbia. *Ecological Economics*, 146: 85-95.
- Bahçeli, S., Bay, A., 2017. Effects of population and settlement movements of HEPP: Yusufeli Dam Sample. *Aegean Geographical Journal*, 26(2): 107-125.
- Bakırcı, M., 2012. The effect of tourism on diversification of economic activities in rural settlements: Yaylalar Village Case (Yusufeli/Artvin). *Turkish Journal of Geography*, 57: 71-85.
- Dama, N., Yılmaz, M., 2020. Social Policy Perspective of Yusufeli Dam: Problems, Opportunities and Expectations. Artvin: Yusufeli Municipality Publications, Bizim Büro Printing House, Ankara.
- Demir, S., Esbah, H., Akgün, A.A., 2016. Quantitative SWOT analysis for prioritizing ecotourism-planning decisions in protected areas: Igneada case. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 23(5): 456-468.
- Demirel, Ö., 1997. A research on the evaluation of natural and cultural resource values of the Çoruh Basin (Yusufeli section) in terms of tourism and recreation potential. PhD Thesis, Black Sea Technical University, Trabzon.
- Ervural, B.C., Zaim, S., Demirel, O.F., Aydın, Z., Delen, D., 2018. An ANP and fuzzy TOPSIS based SWOT analysis for Turkey's energy planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1): 1538-1550.
- Etongo, D., Kanninen, M., Epule, T.E., Fobissie, K., 2018. Assessing the effectiveness of joint forest management in Southern Burkina Faso: A SWOT-AHP analysis. *Forest Policy and Economics*, 90: 31-38.
- Helms, M.M., Nixon, J., 2010. Exploring SWOT analysis-where are we now?: A review of academic research from the last decade. *Journal of Strategy and Management*, 3(3): 215-251.
- IBM Corp., 2023. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 29.0.2.0 Armonk, NY: IBM Corp.
- Kajanus, M., Kangas, J., Kurttila, M., 2004. The use of value focused thinking and the A'WOT hybrid method in tourism management. *Tourism Management*, 25(4): 499-506.
- Kangas, J., Kurttila, M., Kajanus, M., Kangas, A., 2003. Evaluating the management strategies of a forestland estate-the SOS approach. *Journal of Environmental Management*, 69(4): 349-358.
- Kavak, M., 2015. Consciousness and perception attitudes of local people towards ecotourism on the northern coast of Edremit Gulf. Master's Thesis, Çanakkale Onsekiz Mart University, Institute of Educational Sciences, Çanakkale.
- Kiş, N., 2019. A strategic approach to sustainable tourism development using the A'WOT hybrid method: A case study of Zonguldak, Turkey. *Sustainability*, 11(4): 964.
- Kumar, A., Sah, B., Singh, A.R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., Bansal, R.C., 2017. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69: 596-609.
- Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J., Kajanus, M., 2000. Utilizing the analytical hierarchy process (AHP) in SWOT analysis-a hybrid method and its application to a forest-certification case. *Forest Policy and Economics*, 1: 41-52.
- Küçükbaşol, Y., 2015. Çoruh River and Yusufeli Dam: A dam review in terms of social, economic and environmental impacts. *Individual and Society Journal of Social Sciences*, 5(2):133-158.
- Yıldız, S.G.M., Şengün, H., 2019. An evaluation on relocation and expropriation problem caused by dam project in Coruh Valley. *Journal of Ömer Halisdemir University Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 12(1): 48-60.
- Nayir, O., 2009. Determination of ecotourism TALWEP and trends in protected natural areas of Isparta region. Master's Thesis, Süleyman Demirel University, Institute of Science, Isparta.
- Niemira, M.P., Saaty, T.L., 2004. An analytic network process model for financial-crisis forecasting. *International Journal of Forecasting*, 20(4): 573-587.
- Nguyen, T., Truong, C., 2022. Integral SWOT-AHP-Tows model for strategic agricultural development in the context of drought: A case study in Ninh Thuan, Vietnam. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 14(1): 1-30.
- Polat, P., 2023. GIS of pre-dam natural environmental features in Yusufeli (Artvin) determination by methods and ecological sensitivity, NDVI, NDMI analysis. *Manas Journal of Social Research*, 12(1): 1-24.
- Saaty, T.L., 1996. *The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L., 2004. Fundamentals of the analytic network process-multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(3): 348-379.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Services Sciences*, 1(1): 83-98.
- Sever, R., Kalın, Ö. U., 2011. Artvin ilinde yapılan/yapılmakta olan barajlar hakkında Artvin halkının bazı görüşleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 15(23): 65-80.
- Shrestha, R.K., Alavalapati, J.R., Kalmbacher, R.S., 2004. Exploring the potential for silvopasture adoption in south-central Florida: An application of SWOT-AHP method. *Agricultural Systems*, 81(3): 185-199.
- Surat, H., Yılmaz, H., Surat, B.Z., 2015. A research on the ecotourism use potential of Yusufeli and its immediate surroundings. *Eastern Geography Journal*, 20(34): 61-88.
- Surat, H., 2017. The perception and attitude of the local people towards the ecotourism in Artvin Yusufeli. *Journal of Forestry*, 13(2): 9-19.
- Şahin, G., 2017. A research on the perceptions and attitudes of local people living in Artvin towards tourism. Master's Thesis, Istanbul University, Institute of Social Sciences, Istanbul.
- Tam, M.C.Y., Tummala, V.M.R., 2001. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. *Omega*, 29: 171-182.
- TIES, 2023. What is ecotourism? <https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/>, Accessed: 04.11.2023.
- Tıraş, M., 2002. The village settlements in Yusufeli administrative district. *Journal of Turkish Geography*, 38: 133-147.
- Torun, A., 2021. The memory of the sunken city: Changes in Yusufeli's urban identity. *Journal of Urban and Environmental Research*, 3(2): 56-80.
- Türk, B., 2022. Evaluation of Pamukkale's sustainable tourism potential via SWOT-AHP (A'WOT). *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, 53(2): 235-251.
- Türk, E., Erkan, G.H., 2018. Poor planning: A critical inquiry of the Artvin-Yusufeli involuntary resettlement process. *Planning*, 28 (2): 218-235.
- Uzun, F., 2017. Tourism potential in Yusufeli and its surroundings. Master's Thesis, Giresun University, Institute of Social Sciences, Giresun.
- Yılmaz, H., Surat, H., 2015. Determination of the most convenient ecotourism activity by using analytic hierarchy process. *Turkish Journal of Forestry*, 16(2): 164-176.
- Yılmaz, A., Zorlu, K., 2018. Prioritization of sustainable tourism strategies in Sinop using SWOT-AHS analysis. *Journal of International Social Research*, 11(61): 390-403.
- Yüksel, I., Dagdeviren, M., 2007. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-a case study for a textile firm. *Information Sciences*, 177(16): 3364-3382.
- Zorlu, K., Yılmaz, A., 2020. Determination of strategies of ecotourism in protected areas with SWOT-AHP method: The case of Aksaray-Ihlara special environmental protection zone (SEPZ). *Journal of Geography*, 40: 1-12.

Ceviz taneni uygulanmış ağaç türlerinin yüzey parlaklık özellikleri

Şekip Şadiye Yaşar^{a,*}, Alaaddin Uzun^b, Ahmet Cihangir Yalınkılıç^c, Mehmet Yaşar^a

Öz: Günümüzde artan çevresel kaygılar, araştırmacıları daha ekolojik ve sürdürülebilir malzemelere yönlendirmektedir. Bu çalışmada ceviz taneninin ceviz (*Juglans regia* L.) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunlarının yüzey parlaklık özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, sarıçam ve ceviz ağacının yüzeylerine fırça kullanılarak ceviz tanen uygulanmış, ardından su bazlı ve poliüretan verniklerin kaplamaları yapılmıştır. Tanen uygulamasının görsel etkisini değerlendirmek için ahşap örneklerin yüzey parlaklığı ölçülmüştür. Liflere dik ve paralel olarak en yüksek parlaklık değeri poliüretan vernikli sarıçam kontrol örneklerinde, liflere dikte en düşük ise su bazlı vernikli ceviz kontrol örneklerinde, paralel de en düşük değer ise tanen + poliüretan vernikli cevizde bulunmuştur. Bulgular, vernik türünün parlaklık değerlerini önemli ölçüde etkilediğini ve ceviz tanen uygulamasının her iki ağaç türünün yüzey parlaklık özellikleri üzerinde gözle görülür bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Sarıçam, Tanen, Ceviz, Parlaklık, Vernik

Surface gloss properties of walnut tannin applied wood species

Abstract: Nowadays, growing environmental concerns lead to studies towards more ecological and sustainable materials. This study inquires into the effects of walnut tannin on the surface gloss characteristics of walnut (*Juglans regia* L.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) woods. For this purpose, walnut tannin was applied to the surfaces of Scots pine and walnut wood through the use of a brush, and then water-based and polyurethane varnishes were applied. To assess the visual effect of tannin application, the surface gloss of the wood samples was measured. The highest gloss value perpendicular and parallel to the fibers was obtained in the polyurethane varnished Scots pine control samples, the lowest value perpendicular to the fibers was determined in the water-based varnished walnut control samples, and the lowest value parallel to the fibers was found in the tannin + polyurethane varnished walnut. The findings demonstrate that the varnish type significantly affects the gloss values and that the walnut tannin application has a visible effect on the surface gloss properties of both wood types.

Keywords: Scots pine, Tannin, Walnut, Gloss, Varnish

1. Giriş

Ahşap anatomik yapısı, fiziksel ve kimyasal özellikleri ile çevre dostu, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir malzemedir. Ahşap ve ahşap esaslı kompozitler, iç ve dış dekorasyon için giderek daha popüler hale gelmektedir. Bununla birlikte, odun, özellikle zorlu çevre koşulları altında, fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik etkenlerle bozulabilmektedir. Bu etkenler, ahşabın estetik değerini etkileyen parlaklığını da azaltabilir. Tüketiciler, günümüzde minimum parlaklık değişikliği gösteren ürünlere daha fazla ilgi göstermektedir. Parlaklık değişimi, ahşabın kullanım ömrü ve bakım gerekliliği için bilgiler de sunmaktadır. İki farklı lif yönü (radyal-teğet), üç farklı parlaklık değeri (mat, yarı parlak ve parlak) ve üç farklı koyuluktaki (açık, orta ve koyu) ağaç türünü dijital görüntü olarak 22 öğrenciye bir ekranda gösterip erken görsel algı (EPR) sürecinin ölçüp ve önceden tasarlanmış bir anketi uygulanması istenmiştir. Çalışmanın bulguları, ahşabın dokusuna göre görsel-bilişsel inceleme sürecinde parlaklığın daha hızlı algılandığını göstermiştir. Parlaklığın ahşap yüzeylerin görsel ve estetik

değerlendirmesinde, önemli etkilere sahip olduğu belirtilmiştir (Wan vd., 2021).

Ağaç malzemeyi zararlı unsurlardan korumak için kurutma, boyama, yüzey kaplayıcılar, bitkisel ekstraktlar, boyalar ve çeşitli modifikasyon teknikleri kullanılmaktadır (Atar, 1999; Williams, 1999; Kurtoglu, 2000; Sandberg vd., 2017; Yaşar ve Altunok, 2019; Van Acker vd., 2023; Ünver vd., 2024). 20. yy. sonuna doğru ahşap korumada etkin ancak çevreye ve sağlığa zararlı olan arsenik, pentaklorofenol ve kreozot gibi bileşikler birçok ülkede kısıtlanmış veya yasaklanmıştır (Van Acker vd., 2023). Son yıllarda araştırmacılar, geleneksel kimyasal koruyuculara alternatif olarak doğal ve sürdürülebilir odun koruma maddeleri (reçineler, tanen, ekstraktifler vb.) üzerinde durmaktadır. Tanen birçok ağaç türünde bolca bulunabilen yenilenebilir bir kaynaktır. Bu malzeme özellikle deri, tekstil, yapıştırıcı, odun koruma ve çok sayıda ürün içeriğinde kullanılmaktadır (Pizzi, 2008).

Oberhofnerová vd. (2017) açık hava koşullarına 12 ay süresince 4 yumuşak ve 5 sert ağaç türünü bırakıp parlaklık değişimlerini ölçmüştür. Deney sonunda parlaklıktaki en

^a Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Endüstriyel Tasarım Bölümü, Afyon, Türkiye

^b Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Biga Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Bölümü, Çanakkale, Türkiye

^c Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): sseyasar@aku.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 24.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.10.2024



Citation (Atıf): Yaşar, Ş.Ş., Uzun, A., Yalınkılıç, A.C., Yaşar, M., 2024. Ceviz taneni uygulanmış ağaç türlerinin yüzey parlaklık özellikleri. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 466-472.

DOI: [10.18182/tjf.1521680](https://doi.org/10.18182/tjf.1521680)

yüksek değer kızılgağaçta (*Alnus glutinosa* L. Gaertner), en düşük ise meşe ağacında gözlenmiştir. Yüzde olarak en yüksek parlaklık kaybı kızılgağaç (*Alnus glutinosa* L. Gaertner) ve Douglas Göknaarı (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) ağaçlarından elde edilmiştir. Yumuşak ağaç türlerinde birbirine yakın parlaklık değerleri elde edilirken sert ağaçlarda çok daha değişkenlik görülmüştür. Ahşabın yüksek miktarlarda ekstraktif malzemeler içermesi parlaklık değişimlerine sebep olabilir.

Yalçın (2018) kayın ağacının (*Fagus orientalis* L.) %5 ve %10 konsantrasyonlarda mimoza (*Acacia mollissima*) ve kebrako (*Quebracho-Shinopsis lorentzii*) tanenleriyle emprenye edilmesinin etkilerini araştırmıştır. Emprenye edilmiş ahşap örnekleri daha sonra poliüretan, selülozik ve su bazlı verniklerle işlenmiştir. Hem yaşlandırma işleminden önce hem de sonra en yüksek parlaklık değerleri, emprenye edilmemiş kontrol örneklerinde kaydedilmiştir. Hızlandırılmış yaşlandırma, poliüretan vernikle işlenmiş olanlar hariç, vernikli yüzeylerde genellikle parlaklık değerlerinde bir azalmaya yol açmıştır. Tanen konsantrasyonunun %5'ten %10'a çıkarılması parlaklık değerlerinde gözle görülür bir azalmaya yol açmıştır. Sonuçlar, mimoza ve kebrako özleri ile emprenye edilen ve daha sonra poliüretan vernikle işlenen ağacın hem dayanıklılığını hem de yüzey parlaklığını uzun süre koruyabildiğini göstermektedir.

Arıcan (2019) valeks, mimoza ve kızılçam kabuğu tanenlerinin çeşitli konsantrasyonlarına sahip su bazlı şeffaf ve opak akrilik boya uygulayarak 1512 saatlik hızlandırılmış yaşlandırmadan sonra sarıçam odunu üzerinde yüzey parlaklığı ölçüm testleri gerçekleştirmiştir. Deneyler sonunda, örneklerin renklerinin koyulaştığı ve parlaklıklarını kaybettiği, yüzey işlem malzemesindeki tanen konsantrasyonu arttıkça parlaklık değişiminin arttığı ve şeffaf yüzey malzemeleri için parlaklık açısından en umut verici sonuçların valeks ve kızılçam taneleri olduğu belirlenmiştir.

Budakçı (1997) sarıçam, kayın ve meşe test örneklerine farklı film kalınlıklarında akrilik, sentetik ve poliüretan vernikler uygulamış ve yüzey parlaklığı değerlerine bakılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre film kalınlığındaki artışın yüzey parlaklığını artırmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

Kayın ve meşe ağaçlarından elde edilen kaplamalı yüzeylerin vernik katman parlaklığı değerleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda ağaç türlerindeki farklılığın sonucu etkilemediği, asıl etkinin vernik türüne ait olduğu saptanmıştır. Ayrıca parlaklık örneklerinde gözenek açıklıkları (halkalı traheli) tam olarak kapanmadığından lif

yönlerine göre farklı parlaklıkların gözleendiği belirlenmiştir (Sönmez, 1989).

Vernikli göknar, meşe, kayın, sarıçam ve kavak ağaçlarının üst yüzey kalite özellikleri üzerinde ısı işlemi etkilerini araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, liflere dik en yüksek parlaklık 4 saat 175°C'de ısı işlem görmüş sarıçamda; liflere paralel en yüksek parlaklık 4 saat 165°C'de ısı işlem sentetik vernikli sarıçamda; liflere dik en düşük parlaklık 165°C'de 4 saat ısı işlemli parke vernikli kayında; liflere paralel en düşük parlaklık 2 saat 165° ısı işlem görmüş parke vernikli kayında bulunmuştur (Yalınkılıç, 2013).

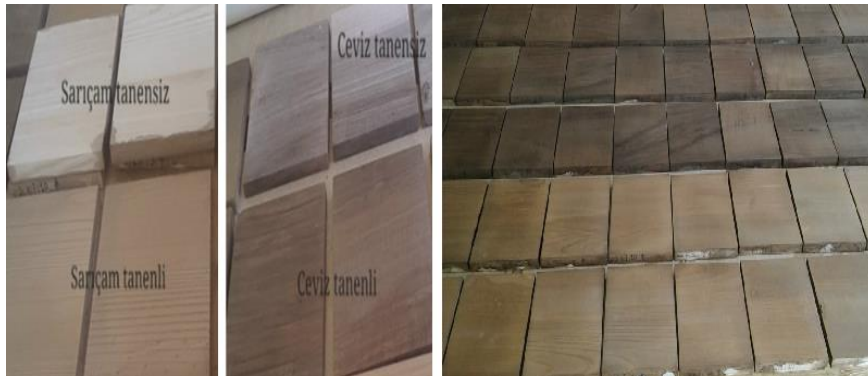
Üç farklı konsantrasyonlu mimoza, valeks ve kızılçamdan elde edilen tanen ve nano ve seryum oksit yapısına sahip su bazlı üst yüzey işlem maddesinin sarıçam yüzeyleri üzerindeki etkisini 1512 saatlik yapay dış ortam testini uygulayarak incelemiştir. Yapılan inceleme sonucunda örneklerin yüzeylerinde oluşan kararmalar sonucu yüzey parlaklığının kaybolduğu tespit edilmiştir (Yazıcı, 2019).

Ceviz ağacı doğal olarak tanen içerir ve bu çalışma, ceviz taneninin harici uygulamasının ahşabın doğal özelliklerini güçlendirip güçlendiremeyeceğini veya değiştirip değiştiremeyeceğini araştırmayı amaçlamıştır. Bu araştırma doğada bol miktarda bulunan ceviz taneninin sert ve yumuşak ağaç türleri arasındaki yüzey parlaklığı özelliklerindeki farklılıkları karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla da önce fırça yardımı ile tanen uygulanmış, sonrasında koruyucu katman olarak vernik uygulanan sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve ceviz (*Juglans regia* L.) odununun parlaklık özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

Çalışmada kullanılan ağaç türlerinin farklı özgül ağırlıkta ve özelliklerde seçilmesi parlaklık özelliklerini etkileyebileceği için geniş yapraklı ağaçlardan Ceviz (*Juglans regia* L.) ve iğne yapraklı ağaçlardan Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odunu kullanılmıştır. Deney örneklerinin hazırlanmasında tesadüfi olarak seçilen birinci sınıf keresteden herhangi bir kusur bulundurmayanlar TS ISO 3129 (2021) standartlarına göre seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan ceviz taneni + su karışımı çözeltisi üretici firmanın önerisi ile 10 g/litre (%1) olarak hazırlanmıştır (Artukimya). Tanen, yüzeye sırasıyla paralel/dik ve paralel olarak 3 kat şeklinde Şekil 1'de gösterildiği gibi sürüldükten sonra kurutulmaya bırakılmış ve 24 saat sonra vernik uygulamasına geçilmiştir.



Şekil 1. Tanen uygulanmış sarıçam ve ceviz odunu örnekleri
Figure 1. Tannin treated scots pine and walnut wood samples

Çalışmada kullanılan tanenin su bazlı sistemlerle etkileşiminde renklenme oluşumunun parlaklık özelliğine etkilerini daha iyi görebilmek için özellikle üst yüzey malzemesi olarak su bazlı vernik (Sb) ve karşılaştırma yapabilmek için poliüretan vernik (PU) kullanılmıştır. Vernikler 120 g/m² olacak şekilde çift katman olarak uygulanmıştır. Her bir katman sırasıyla liflere paralel/dik ve paralel olarak fırça ile 24 saat kuruması beklenerek tatbik edilmiştir.

Viskozite ölçümleri, "Digital Rotary Viscometers" dijital dönerli viskometre cihazının ölçüme uygun olan ucu (S-61) ile ölçülmüştür. Vernik katı madde miktarı TS EN ISO 3251 (2019) prensiplerine göre 60 mm'lik içbükey saat camının darası belirlendikten sonra 60°C'ye ayarlanmış kurutma fırınına 5 g vernik konularak ve 1/1000 gramlık (d=0,001 g) dijital hassas terazide tartılarak ölçülmüştür (Sönmez, 1989).

Yüzey parlaklık ölçüm cihazı, 60±2° doğrulukla ölçüm yapabilen ve 1,567 kırılma indisine sahip siyah kalibre cam kullanılarak kalibre edilmiştir. Pürüzsüz bir yüzey ve her geometri için 100 gösterge değeri olarak belirlenen bir parlaklık seviyesi ile testlerden önce ve her ölçüm sırasında kalibre edilmiştir (ASTM D 523, 1994; Atar, 1999; Yalınkılıç, 2013; TS EN ISO 2813, 2014).

Verilerin değerlendirilmesi, çalışmanın verileri Microsoft Excel ile girilmiş, veri analizleri %95'lik Güven Sınırları göz önünde tutularak SPSS 22.0 (2013) paket programında yapılmıştır. Çalışmada minimum ve maksimum değerler, varyans analizleri, ortalamalar ve standart sapmalar belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Katı madde miktarları ve viskozite değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Liflere dik parlaklık analizinde; ağaç türü (A) + Emprenye işlemi (E) ikili etkileşimi ve üçlü etkileşim (AEV) harici tüm etkileşimler anlamlıdır. Analiz vernik türünün tekli ve çiftli etkileşimlerinin önemli farklılıklar çıkardığını göstermektedir. Ağaç türü, emprenye işlemi ve vernik çeşidine göre LDP deki farklılıklar Çizelge 3-8. arasında yer almaktadır.

Ağaç türü, emprenye işlemi ve vernik türünün liflere dik parlaklık değerleri (LDP) üzerindeki etkileşimlerini belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Ağaç türüne göre ceviz ağacında LDP değerleri düşük, sarıçamda yüksektir. Ceviz odununun kaba tekstürü ve yüksek oranda tanen içermesi, ışığı emerek dağıtması ve parlaklık oranlarını düşürmesinin nedeni olarak gösterilebilir. Sarıçamda parlaklığın yüksek çıkması, traheidlerin homojen dağılımı nedeniyle yüzeye gelen ışığın şiddetini azaltmadan yansıtmasından ve sarıçamın sarımsı parlak yapısından kaynaklanabilir (Sönmez, 1989; Atar, 1999; Özçiftçi vd., 1999; Yalınkılıç, 2013).

LDP değerleri emprenye işlemine göre incelendiğinde, kontrol örneklerinin yüksek (47) olduğu, tanenlilerin parlaklık değerlerinin ise düşük seviyelerde (41,9) olduğu tespit edilmiştir. Tanenin ahşabın lümenleri içerisinde yansıyan ışığı emmesi parlaklık değerlerini düşürmüş olabilir (Yalınkılıç vd., 1999; Baysal vd., 2014; Tomak vd., 2018; Yalçın, 2018).

Çizelge 1. Viskozite değerleri ve vernik katı madde miktarları
Table 1. Viscosity values and varnish solids amounts

İşlem maddesi	Katı madde miktarı (%)	Viskozite	
		RPM	cP
Tanen		100	3,9
PU parlak vernik	50,3	12	95,5
PU sertleştirici	43,3	12	170
PU vernik + PU sertleştirici	44,7	12	146,5
Sb parlak vernik	40	1,5	1820

PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, RPM: Dönüş hızı (dev/dk), cP: Viskozite (%1' lik) ölçüm birimi (Centipoise)

Çizelge 2. Liflere dik parlaklık değerinin çoklu varyans analizi
Table 2. Multivariate analysis of gloss values perpendicular to fibers

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	P*
Ağaç (A)	3883,994	1	3883,994	33,927	0,000*
Emprenye (E)	791,047	1	791,047	6,910	0,010*
Vernik (V)	111005,425	2	55502,712	484,828	0,000*
AE	226,600	1	226,600	1,979	0,162
AV	1851,795	2	925,897	8,088	0,001*
EV	1373,162	2	686,581	5,997	0,003*
AEV	355,299	2	177,649	1,552	0,217
Hata	12363,757	108	114,479		
Toplam	131851,078	119			

F: Faktör etki düzeyi, P: %95 Güven aralığı, *: İstatistiksel olarak anlamlı fark $\alpha \leq 0.05$

Çizelge 3. Ağaç türüne göre LDP ortalama değerleri
Table 3. LDP average values according to wood type

Ağaç türü	Ortalama	%95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
Sarıçam	50,1	47,4	52,9
Ceviz	38,8	36	41,5

Std. Hata: 1,381

Çizelge 4. Emprenye işlemine göre LDP ortalama değerleri
Table 4. LDP average values according to impregnation process

Emprenye işlemi	Ortalama	% 95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
Kontrol	47	44,3	49,8
Tanen	41,9	39,1	44,6

Std. Hata: 1,381

Vernikli örneklerde LDP değeri en yüksek poliüretan vernikte (70,8) ve en düşük değer ise su bazlı vernikte (60,7) elde edilmiştir. Poliüretan vernikli test örnekleri ile su bazlı vernikli test örnekleri arasında liflere dik parlaklık açısından yaklaşık %10'luk bir fark olduğu görülmektedir. Poliüretan vernikler, ahşap liflerine nüfuz etme, düzgün, yansıtıcı bir tabaka oluşturma ve parlaklık konusunda daha iyi bir kapasiteye sahiptir. Öte yandan su bazlı vernikler, ışığı dağıtabilen ve parlaklık seviyelerini azaltabilen hafif dokulu bir yüzeye sahip daha yumuşak filmler oluşturma eğilimindedir (Budakçı, 1997; Yakın, 2001).

Vernikli örneklerde LDP en yüksek değer sarıçam+poliüretan vernik (80,2) ve en düşük değer ise ceviz+su bazlı vernikte (53,4) bulunmuştur.

Çizelge 6. Ağaç türü - vernik çeşidine göre LDP değerleri
Table 6. LDP average values according to wood type - varnish type

Ağaç Türü	Vernik	Ortalama	%95 Güven sınırları	
			Alt sınır	Üst sınır
Sarıçam	Sb	68,1	63,4	72,8
	PU	80,2	75,5	85
	Uvr	2,1	-2,7	6,8
Ceviz	Sb	53,4	48,6	58,1
	PU	61,4	56,6	66,1
	Uvr	1,56	-3,2	6,3

Std Hata: 2,392, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Çizelge 5. Vernik türüne göre LDP ortalama değerleri
Table 5. LDP average values according to varnish type

Vernik	Ortalama	% 95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
PU	70,8	67,4	74,1
Sb	60,7	57,4	64,1
Uvr	1,8	1,5	5,2

Std. Hata: 1,692, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Emprenye işlemi - vernik türü etkileşimi açısından, vernikli örneklerde LDP en yüksek kontrol + poliüretan vernikte (78,1) değerlendirilirken, en düşük değer ise kontrol + su bazlı vernikte (60,4) elde edilmiştir. Öncesinde tanen uygulanan vernikli örneklerde birbirine çok yakın değerler görülmüştür. Poliüretan verniğin parlaklık değerlerinin su bazlı verniğe göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Vernikli örneklerde ağaç türü, emprenye işlemi ve vernik çeşidine göre en yüksek LDP değeri, sarıçam+kontrol+poliüretan vernikte (91,3) ve en düşük değer ise ceviz+kontrol+su bazlı vernikte (52,8) bulunmuştur. Ağaç türü, emprenye işlemi ve vernik türünün liflere paralel parlaklık değerleri (LPP) üzerindeki etkileşimlerinin önemini belirlemek için gerçekleştirilen çoklu varyans analizi Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 7. Emprenye işlemi – vernik çeşidi etkileşimine göre LDP değerleri

Table 7. LDP average values according to impregnation process - varnish type

İşlem	Vernik	Ortalama	%95 Güven sınırları	
			Alt sınır	Üst sınır
Kontrol	Sb	60,4	55,6	65,1
	PU	78,1	73,4	82,8
	Uvr	2,6	-2,2	7,3
Tanen	Sb	61,1	56,3	65,8
	PU	63,5	58,7	68,2
	Uvr	1,1	-3,6	5,8

Std. Hata: 2,392, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Çizelge 8. Liflere dik ortalama parlaklık değerleri
Table 8. Average gloss values perpendicular to the fibers

Ağaç	Parametreler		Liflere dik parlaklık değerleri			
	Emprenye işlemi	Vernik	Ortalama	Maksimum	Minimum	Sd
Sarıçam	Kontrol	Sb	67,9	82,4	32,8	15,82
		PU	91,3	108	65,3	12,13
		Uvr	2,9	3,2	2,6	0,23
	Tanen	Sb	68,2	84,6	50,6	9,68
		PU	69,1	97,4	41	16,81
		Uvr	1,2	1,6	1,1	0,16
Ceviz	Kontrol	Sb	52,8	65,4	40,1	7,45
		PU	64,8	89,5	27,7	17,95
		Uvr	2,1	2,6	1,7	0,28
	Tanen	Sb	53,9	67,1	38	9,3
		PU	57,8	80,9	46,3	11,65
		Uvr	0,98	1,1	0,9	0,06

Sd: Standard deviation, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Çizelge 9. Liflere paralel parlaklık değerinin çoklu varyans analizi
Table 9. Multivariate analysis of gloss values parallel to the fibers

Faktör	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F değeri	P*
Ağaç (A)	773,176	1	773,176	7,359	0,008*
Emprenye (E)	1537,968	1	1537,968	14,639	0,000*
Vernik (V)	180002,249	2	90001,124	856,656	0,000*
AE	28,033	1	28,033	0,267	0,607
AV	279,865	2	139,932	1,332	0,268
EV	2878,226	2	1439,113	13,698	0,000*
AEV	116,061	2	58,03	0,552	0,577
Hata	11346,582	108	105,061		
Toplam	196962,160	119			

F: Faktör etki düzeyi, P: %95 Güven aralığı, *: İstatistiksel olarak anlamlı fark $\alpha \leq 0.05$

Liflere paralel olarak yapılan parlaklık analizinde; ağaç türü (A), emprenye işlemi (E), vernik türü (V) ve emprenye işlemi- vernik türü (EV) etkileşiminin önemli olduğu ve diğer etkileşimlerin önemsiz olduğu bulunmuştur. Ağaç türüne göre LPP ortalama değerleri Çizelge 10'da verilmiştir.

Ağaç türüne göre liflere paralel parlaklık değerleri için en yüksek değer sarıçamda (59,4) görülmektedir. Liflere paralel parlaklıkta (LPP) nispeten ağaç türleri arasında çok büyük bir fark görünmezken, liflere dik parlaklıkta (LDP) bu açıklık daha fazladır. İşlem çeşidine göre liflere paralel parlaklık ortalama değerleri Çizelge 11'de verilmiştir.

Emprenye uygulamasına göre ortalama liflere paralel parlaklık değerleri incelendiğinde en yüksek değer kontrol örneklerinde (60,4) elde edilmiştir. Tanen uygulaması parlaklık değerlerini azaltmıştır. Vernik türüne göre, liflere paralel parlaklık için ortalama değerler Çizelge 12'de verilmiştir.

Vernik türüne göre LPP en yüksek değer poliüretan vernikte (85,3) bulunmuştur. Liflere paralel parlaklıkta (LPP)

nispeten vernikler arasında çok büyük bir fark görünmezken, liflere dik parlaklıkta (LDP) bu açıklık daha fazladır. İşlem - vernik türü etkileşimine göre liflere paralel parlaklık için ortalama değerler Çizelge 13'te verilmiştir.

Emprenye işlemi-vernik çeşidi etkileşimine göre, LPP en yüksek kontrol+poliüretan vernikte (95,8), en düşük tanen+poliüretan vernikte (74,8) elde edilmiştir. İşlem-vernik tipi etkileşimine göre LPP ortalama değerleri incelendiğinde, su bazlı vernikli tanen ve kontrol numuneleri arasında bir homojenlik olduğu söylenebilir. Ağaç türü, İşlem ve vernik çeşidine göre LPP için ortalama, en yüksek ve en düşük değerler Çizelge 14'te verilmiştir.

Vernikli numunelerde LPP değerleri, ağaç türü, emprenye işlemi ve vernik tipi etkileşimine göre incelendiğinde en yüksek değer Sarıçam + kontrol + poliüretan vernik (101)'de, en düşük değer ise ceviz + tanen + poliüretan vernikte (73,3) bulunmuştur.

Çizelge 10. Ağaç türüne göre LPP için ortalama değerler
Table 10. LPP average values according to wood type

Ağaç	Ortalama	%95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
Sarıçam	59,4	56,8	62
Ceviz	54,3	51,7	56,9

Std. Hata: 1,323

Çizelge 11. Emprenye işlemi çeşidine göre LPP ortalama değerleri
Table 11. LPP average values according to impregnation process type

Emprenye işlemi	Ortalama	%95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
Kontrol	60,4	57,8	63,1
Tanen	53,3	50,6	55,9

Std. Hata: 1,323

Çizelge 12. Vernik türüne göre LPP için ortalama değerler
Table 12. LPP average values according to varnish type

Vernik	Ortalama	%95 Güven sınırları	
		Alt sınır	Üst sınır
PU	85,3	82,1	88,5
Sb	83,1	79,9	86,4
Uvr	2,1	-1,1	5,3

Std. Hata: 1,621, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Çizelge 13. Emprenye işlemi- vernik türü etkileşimine göre LPP için ortalama değerler
Table 13. LPP average values according to impregnation process - varnish type

Emprenye işlemi	Vernik	Ortalama	%95 Güven Sınırları	
			Alt Sınır	Üst Sınır
Kontrol	Sb	82,7	78,2	87,3
	PU	95,8	91,2	100,3
	Uvr	2,8	-1,8	7,3
Tanen	Sb	83,6	79	88,1
	PU	74,8	70,3	79,4
	Uvr	1,4	-3,2	5,9

Std. Hata: 2,292, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

Çizelge 14. Ağaç, işlem ve vernik çeşidine göre LPP değerleri
Table 14. LPP values according to wood, process and varnish type

Ağaç	Parametreler		Liflere dik parlaklık değerleri			
	Emprenye işlemi	Vernik	Ortalama	Maksimum	Minimum	Sd
Sarıçam	Kontrol	Sb	86	92,1	70,2	6,44
		PU	101	111	80,1	10,15
		Uvr	3,3	3,6	3	0,23
	Tanen	Sb	87,9	92	78	4,12
		PU	76	102	49	15,42
		Uvr	1,6	1,9	1,3	0,19
Ceviz	Kontrol	Sb	79,4	87	67,8	6,13
		PU	90,6	106	35	24,29
		Uvr	2,2	3,4	1,4	0,66
	Tanen	Sb	79,2	87,8	69,3	6,75
		PU	73,3	94,6	57,2	13,71
		Uvr	1,2	1,3	1	0,1

Sd: Standard deviation, PU: poliüretan vernik, Sb: su bazlı vernik, Uvr: verniksiz

4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada tanen uygulamasının sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve ceviz (*Juglans regia* L.) odunlarının parlaklık özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

Ağaç Türünün Etkisi: Sarıçam, ceviz ile karşılaştırıldığında liflere hem dik hem de paralel olarak daha yüksek parlaklık değerleri göstermiştir. Sarıçamın düzgün dağılan traheidleri yansımayı azaltmazken, cevizdeki dağınık ve büyük trahe boşlukları ışığın yansımaları olumsuz etkilemiş olabilir.

Tanen Uygulamasının Etkisi: Tanen uygulaması genel olarak her iki ağaç türünde de parlaklık değerlerini düşürmüştür. Parlaklıktaki azalma, tanen parçacıklarının lümenleri doldurması ve yansıyan ışığı emmesi ve böylece yüzey parlaklığını azaltmasıyla açıklanabilir.

Vernik Tipinin Etkisi: Poliüretan vernik, su bazlı vernik ile karşılaştırıldığında daha yüksek parlaklık değerleri ile sonuçlanmıştır. Poliüretan vernik ile parlaklık artışı, sarıçamda, özellikle tanensiz kontrol numunelerinde daha belirgin olarak ortaya çıkmıştır.

Çalışma, tanen uygulamasının ahşap yüzeylerin parlaklık özelliklerini etkileyebildiğini, ayrıca vernik seçiminin nihai parlaklık değerlerinin belirlenmesinde çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Gelecekteki araştırmalar tanenin ahşap özellikleri ve potansiyel endüstriyel uygulamalar üzerindeki uzun vadeli etkilerini keşfetmeye odaklanmalıdır. Daha ileri çalışmalar, çevre dostu ahşap koruma yöntemleri olarak uygulanabilirliklerini sağlamak için bu işlemlerin çevresel etkisini ve sürdürülebilirliğini de araştırabilir.

Açıklama

Bu çalışma, Alaaddin UZUN'un 2021 yılında Doç. Dr. Ş. Şadiye YAŞAR danışmanlığında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ormanlık ve Çevre Anabilim Dalı'nda hazırladığı yüksek lisans tezinden oluşmaktadır.

Kaynaklar

- Arıcan, F., 2019. Tanen katkılı üst yüzey işlem maddesinin ahşabın dış ortam koşullarına karşı dayanıklılığına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- ASTM D 523, 1994. Test Methods for Specular Gloss, American Society for Testing and Materials, U.S.A.
- Atar, M., 1999. Renk açıcı kimyasal maddelerin ağaç malzeme üst yüzey işlemlerine etkileri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- Baysal, E., Tomak, E. D., Özbey, M., Altın, E., 2014. Surface properties of impregnated and varnished Scots pine wood after accelerated weathering, *Coloration Technology*, 130(2): 140-146. doi:10.1111/cote.12070
- Budakçı, M., 1997. Ahşap verniklerinde katman kalınlığının sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma mukavemetine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Kurtoğlu, A., 2000. Ağaç Malzeme Yüzey İşlemleri 1.Cilt Genel Bilgiler. İ.Ü.Orman Fakültesi Yayın No:463. İstanbul.
- Oberhofnerová, E., Pánek, M., Garcia-Cimarras, A., 2017. The effect of natural weathering on untreated wood surface. *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 19(2): 173-184. doi: 10.4067/S0718-221X2017005000015
- Özçiftçi, A., Atar, M., Uysal, B., 1999. Ağaç malzeme renk açmada kullanılan kimyasalların yüzey parlaklığına ve verniklerin yapışma mukavemetine olan etkileri. *Journal of Agriculture and Forestry*, Ek Sayı 3: 763-770.
- Pizzi, A., 2008. Tanens: major sources, properties and applications. In: *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* (Ed: Belgacem M.N., Gandini A.), Elsevier, pp. 179-199. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.X0001-4>
- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G., 2017. Wood modification technologies - A review. *Forest Biogeosciences and Forestry*, 10(6): 895-908.
- Sönmez, A., 1989. Ağaçtan yapılmış mobilya üst yüzeylerinde kullanılan verniklerin önemli mekanik, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılıkları. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- SPSS 22.0, 2013. İstatistik Programı. Sun Microsystems, Inc., Network Circle, Santa Clara, CA, USA.
- Tomak, E. D., Arıcan, F., Gönültas, O., Sam, E. D., 2018. In fluence of tannin containing coatings on weathering resistance of wood : Water based transparent and opaque c oatings. *Polymer Degradation and Stability*, 151(1): 152-159. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2018.03.011
- TS EN ISO 2813, 2014: Paints and varnishes- Determination of specular gloos of non-metallic paint films at 20, 60 and 85, TSE, Ankara.
- TS EN ISO 3251, 2019. Boyalar, vernikler ve plastikler - Uçucu olmayan madde tayini' Paints, varnishes and plastics - Determination of non-volatile-matter content', T.S.E., Ankara.
- TS ISO 3129, 2021. Wood - Sampling methods and general requirements for physical and mechanical testing of small clear wood specimens, T.S.E., Ankara.
- Ünver, M. K., Altunok, M., Yaşar, Ş. Ş., 2024. The investigation of natural aging behavior of some wood. *Wood Research*, 69(3): 522-532. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.3.522532>
- Van Acker, J., Van den Bulcke, J., Forsthuber, B., Grüll, G., 2023. Wood Preservation and Wood Finishing. In: *Springer Handbook of Wood Science and Technology*, (Ed: Niemi, P., Teischinger A., Sandberg D.), Springer International Publishing, pp. 793-871.

- Wan, Q., Li, X., Zhang, Y., Song, S., Ke, Q., 2021. Visual perception of different wood surfaces : an event related potentials study. *Annals of Forest Science*, 78: 25. doi: 10.1007/s13595-021-01026-7
- Williams, R. S., 1999. Finishing of Wood. *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General technical report FP; GTR-113.
- Yakın, M., 2001. Su bazlı verniklerde sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma mukavemetinin tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalçın, M., 2018. Surface glossiness properties of impregnated with some plant tanens and varnished wooden material. *Forestist*, 68(1): 61-69. doi: 10.5152/forestist.2018.007
- Yalınkılıç, A. C., 2013. Isıl işlemlerle ağaç malzemenin mobilya üretiminde uygunluğunun araştırılması ve geliştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yalınkılıç, M. K., İlhan, R., Imamura Takahashi Y.M., Demirci, Z., Yalınkılıç A.C., Peker H., 1999. Weathering durability of CCB-impregnated wood for clear varnish coatings. *Journal of Wood Science*, 45: 502-514.
- Yaşar, M., Altunok, M., 2019. Some physical and mechanical properties of impregnated chestnut wood with natural and chemical agent exposed to outdoor conditions. *Journal of Journal of Polytechnic*, 22(2) :399-406. doi: 10.2339/politeknik.404006
- Yazıcı, Ö. A., 2019. Ahşap malzemenin fotodegradasyona karşı dayanıklılığının tanen ve nano metal oksitler ile artırılması. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

The diagonal tensile strength of corner joints constructed with different connectors

Halil Karatay^a, Merve Fatma Akbaş^{b,c}, Mesut Uysal^{a,*}

Abstract: This study aimed to investigate the strength and stiffness of corner joints for case furniture in the diagonal tension test. For this purpose, joint members were constructed with medium-density fiberboard (MDF) and particleboard (PB) with minifix, butterfly, and trapeze connectors. The study also observed the role of the end distance of the connectors, which was found to be a factor in joint strength and stiffness. According to the results, joints made of MDF performed 16 to 92 % better compared to PB, considering connectors on joints, which was evident due to material properties that MDF were denser by 7.5% and more strengthfull by 177% than PB. The butterfly connectors had the highest strength and stiffness regardless of material type and end distance, followed by trapeze connectors. The joints with minifix connectors had strength and stiffness of 2-3 times lower than others. Moreover, the end distance of 75 mm provided slightly higher joint strength and stiffness compared to those of 50 mm but was not statistically significant. Consequently, butterfly connectors demonstrated markedly the highest strength and stiffness for corner joints of case furniture. Furniture made of MDF should be chosen for higher durability rather than PB.

Keywords. Diagonal tension test, Corner joints, Knockdown connectors, End distance

Farklı bağlantı elemanları ile üretilmiş köşe birleştirmelerinin diyagonal çekme dayanımı

Öz: Bu çalışmanın amacı kutu tipi mobilyaların köşe birleştirmelerinin diyagonal çekme testi altında dayanımını ve rijitliğini incelemektir. Bu doğrultuda, birleştirme, lif levha (MDF) ve yonga levha (YL) panelleri kullanılarak minifix, kelebek ve trapez bağlantı elemanlarıyla oluşturulmuştur. Ayrıca, bağlantı elemanlarının köşe birleştirme kenar mesafesi de gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, MDF, YL'dan %7.5 daha yoğun ve %177 daha dayanıklı olmasından dolayı, bu malzeme ile yapılan birleştirmeler YL panelinden yapılan birleştirmelere göre kullanılan bağlantı elemanı dikkate alındığında %16 ila %92 arasında daha iyi performans göstermiştir. Kelebek bağlantı elemanları, malzeme türü ve köşe birleştirme kenar mesafesinden bağımsız olarak en yüksek dayanım ve rijitliğe sahiptir, trapez bağlantı elemanları onları takip etmektedir. Minifix bağlantı elemanlarıyla yapılan birleştirmeler diğerlerine göre 2-3 kat daha düşük dayanım ve rijitliğe sahiptir. Ayrıca, 75 mm köşe birleştirme kenar mesafesi, 50 mm olanlara göre biraz daha yüksek bir birleştirme dayanımı sağlamıştır ama istatistiksel olarak anlamlı değildir. Sonuç olarak, kutu tipi mobilyaların köşe birleştirmelerinde kelebek bağlantı elemanları belirgin bir şekilde en yüksek dayanımı ve rijitliğini göstermiştir. Mobilya yapımında MDF malzemesinin tercih edilmesi, YL malzemesine göre daha yüksek dayanıklılık sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Diyagonal çekme testi, Köşe birleştirme, Demonte bağlantılar, Kenar mesafesi

1. Introduction

Case-type furniture constructions are widely used in the furniture industry, utilizing solid wood or wood-based composite panels with joinery systems with a self-locking system and demountable features. The strength and durability of case furniture are critical factors that influence its longevity and functionality. The type of joinery used plays a pivotal role among the various elements that contribute to these properties. Furniture design has increasingly incorporated innovative connectors such as minifix, butterfly, and trapeze connectors, each offering unique advantages in terms of ease of assembly, cost, and mechanical performance.

Research endeavors regarding the strength of the corner joints for the case furniture remain highly pertinent and worthy of continued exploration. Recently, the joint strength of case furniture has been studied by considering material type, joint type, adhesive types, dimension of the materials and connectors, joinery techniques, and newly developed connectors.

Yuksel et al. (2015) stated that joint strength with confirmat and screws was higher than joints with minifix; namely, it could be said that minifix connectors provided sufficient strength for joints but performed less compared to screwed joints. Demirci et al. (2020) evaluated the effect of the wood species, number of teeth, and adhesive type on wood corner joints and concluded that the density of the

✉ ^a Department of Forest Industry Engineering, Bursa Technical University, 16310, Bursa, Türkiye

^b Department of Polymer Materials Engineering, Bursa Technical University, 16310, Bursa, Türkiye

^c Department of Quality Control, Dogtas, Biga, 17200, Canakkale, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mesut.uysal@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 07.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.11.2024



Citation (Atıf): Karatay, H., Akbaş, M.F., Uysal, M., 2024. The diagonal tensile strength of corner joints constructed with different connectors. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 473-482. DOI: [10.18182/tjf.1511711](https://doi.org/10.18182/tjf.1511711)

materials highly influenced joint strength, and an increase in the number of teeth enhanced joint strength. Smietanska and Mielczarek (2022) indicated that corner joints made of MDF have higher strength compared to PB, approximately 34-47%, depending on joint types. Similarly, Yuksel et al. (2015) observed a 36-69% ratio. Denser wood-based composite materials have higher joint strength, correspondingly higher bending properties, internal bond strength, and screw-holding capacity. Minifix joints are mainly used with dowels to resist moment on the corner joint. Yerlikaya and Aktas (2012) reinforced the minifix+dowel joint with glass-fiber composite layers and enhanced joint strength by 158% and 20% in the diagonal compression and tension tests, respectively. Besides, an increase in dowel diameter and penetration depth in corner joints increased the joint strength. Dalvand et al. (2014) expressed that joint strength enhanced with an increase in dowel penetration depth from 9 to 13 mm and 13 to 17 mm, and dowel diameter from 6 to 8 mm but reducing 8 to 10 mm. Due to the thickness of wood-based composite materials, an increase in dowel diameter severely decreases joint strength. The thickness of the remaining dowel holes was reduced, causing stress on the corners and causing the earlier failure. Klos and Langova (2023) presented the calculation of the reliability of case furniture made of MDF and PB with minifix, dowel, and confirmat screws by observing the strength of the corner joints.

Hajdarevic and Martinovic (2015) highlighted that end distances significantly affected joint strength by changing stress patterns in fracture zones. In the case of an end distance of 52 mm, the joint had a maximum joint stiffness comparable to those of 20 and 84 mm. By decreasing end distances to 20 mm, joint stiffness decreased by 8.5%, while those of 82 mm were 12%. Karaman (2021) investigated the effects of end-distances of Clamex P14 on joint strength and indicated that an increase in end distance from 50 to 60 mm increased the joint strength, but those of 60 to 70 mm decreased. Yet, there were increases in joint strength while increasing the end distance from 50 to 70 mm. Otherwise, Malkacoglu et al. (2013) observed that joint strength decreased when the end distances increased from 50 to 80 mm. Simek et al. (2008) examined the effects of end distance on corner joints of diagonal compression strength and highlighted that an increase in end distances from 30 to 60 mm enhanced joint strength while those of 30 to 90 mm decreased, but this reduction was not statistically different. The studies showed that end distances influenced the joint strength somewhat; namely, its increase was insignificant or did not contribute to joint strength after a certain distance point.

Recently, innovative and additively manufactured connectors have been studied and compared to commonly used connectors for joints of case furniture. Krzyzaniak and Smardzewski (2019) developed new, innovative two-plastic connectors and benchmarked them with a minifix connector. The results showed that newly developed joints had strength as much as joints with minifix. Kasal et al. (2023) evaluated the strength of corner joints with newly designed auxetic dowels, benchmarking them against plain dowels in the diagonal tensile and compression test. The result showed that auxetic dowels did not provide higher strength but were assembled easily without any tools. Kuskun et al. (2023) optimized the auxetic dowels using Monte Carlo Simulation and provided a new solution that these dowels were suitable for corner joints.

Adhesive types used in corner joints significantly affect joint strength. Karaman (2020) stated that PVA adhesive had 9-12% and 14-18% higher strength compared to PU adhesive in the diagonal tensile and compression tests, respectively. Similarly, Demirci et al. (2020) indicated that PVA performed better than PU.

Lightweight case furniture has become prominent due to its life cycle and consideration of design for the environment. Petrova et al. (2023) stated that thin and ultra-thin wood-based composite materials could be suitable for corner joints. It was suggested that 10 mm MDF and 12 mm PB could provide efficient strength for corner joints with a miter joinery system by increasing the surface area of the joined edges.

This paper investigates the strength and stiffness of joints for case furniture in the diagonal tension test, one of the key indicators of its resistance to racking forces and overall structural integrity. This study aims to evaluate and compare the moment capacity and stiffness of joints for case furniture assembled using minifix, butterfly, and trapeze connectors. This evaluation will provide insights into the effectiveness of these joinery methods in enhancing the structural integrity and durability of furniture. For this purpose, the objectives of the study were (i) to conduct a series of moment capacity and stiffness in diagonal tension tests for case furniture assembled using minifix, butterfly, and trapeze connectors, (ii) to analyze the data collected from these tests to determine the comparative strengths and weaknesses of each joinery method (iii) to identify which connector type offers the best performance in terms of moment capacity and stiffness and (iv) to provide recommendations for furniture designers and manufacturers on the optimal use of these connectors for improved furniture durability and functionality.

Understanding the relationship between joinery types and strength and stiffness can lead to more rational decisions in furniture construction, ensuring both aesthetic appeal and robust functionality. This study highlights the practical implications of minifix, butterfly, and trapeze connectors in contemporary furniture design. The results of the study will contribute to the field of furniture design and manufacturing by (i) enhancing knowledge about the mechanical performance of different joinery methods, (ii) providing practical insights for designers and engineers to optimize the structural performance of case furniture and (iii) supporting the development of more durable and reliable furniture products through informed material and design choices.

2. Material and method

2.1. Materials

This study used particle board (PB) and medium density fiber (MDF) with a thickness of 18 mm to determine the strength and stiffness of the corner joints. Three distinct connectors were used to join members, namely, minifix (D:15 mm, H:13 mm, and L:50 mm, Figure 1.a), butterfly (Figure 1.b), and trapeze (Figure 1.c). 8x30 mm plastic dowels for minifix connectors (Figure 1.a), 3.5x18 mm screws for the butterfly, and 3.5x25 mm screws for the trapeze were used to construct the joint, and the penetration depth for a screw for each connector was approximately 16 mm.

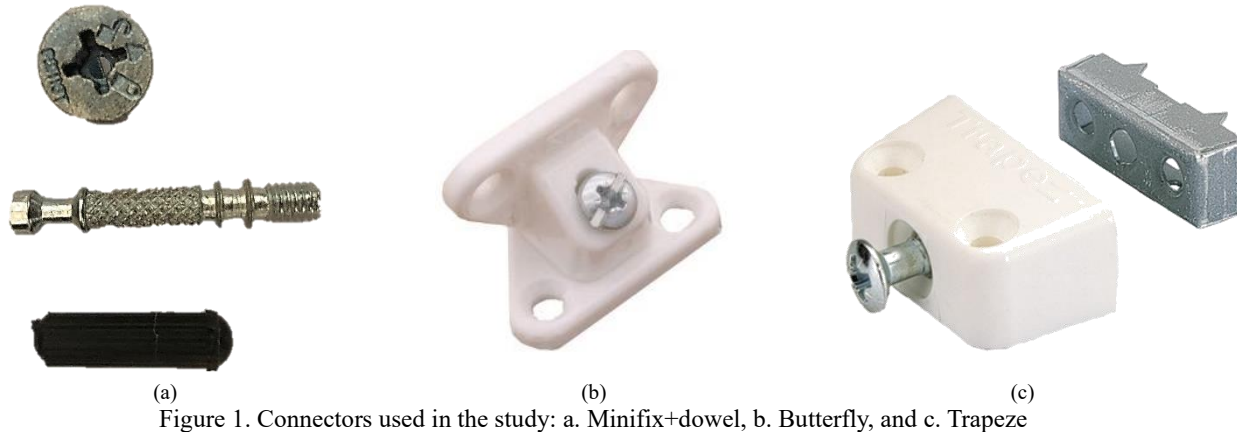


Figure 1. Connectors used in the study: a. Minifix+dowel, b. Butterfly, and c. Trapeze

2.2. Determination of density and moisture content

According to TS EN 323 (1999), five test specimens for each sample group with 18 x 50 x 50 mm dimensions were prepared. All specimens were acclimatized at 20 ± 2 ° C and 65 ± 5% relative humidity according to TS-EN 326-1 (1999), and weighed with a 0.01 g precision scale. Their dimensions were measured with a 0.01 precision caliper. The density of the PB and MDF panels was calculated using Equation 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1}$$

Where, ρ is the density (gr/cm³), m is the weight of the material (gr), and V is the volume of the material (cm³).

2.2. Determination of Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity

According to TS EN 310 (1999) all specimens for each material were prepared with dimensions of 18 x 50 x 410 mm and five replications for three-point bending tests (Figure 2). All tests were conducted on a SHIMADZU test machine until non recoverable failure occurred with a rate of 10 mm/min. In the three-point bending tests, load-deformation curves were obtained for PB and MDF specimens. These curves were used to calculate the modulus of rupture (MOR , MPa) and modulus of elasticity (MOE , MPa) of the materials according to Equations 2 and 3, respectively.

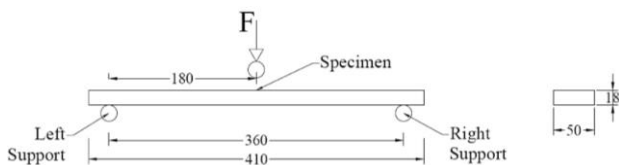


Figure 2. Test configuration for three-point bending test (in mm)

$$MOR = \frac{3 \times F_{max} \times L}{2 \times b \times h^2} \tag{2}$$

Where, F_{max} is the maximum load capacity (N), L is the span length (mm), b is the specimen breath (mm) and h is the specimen thickness (mm).

$$MOE = \frac{\Delta F \times L^3}{4 \times \Delta d \times b \times h^2} \tag{3}$$

Where, ΔF is the difference between two loads in the elastic region of the load-deformation curve (N) and Δd is the deformations corresponding to loads for ΔF (mm).

2.3. Specimen constructions and diagonal tension test of joints

All parts are cut from PB and MDF with dimensions of 18x182x300 mm and 18x200x300 mm for members joined vertically and horizontally, respectively, as shown in Figure 3. Three joinery types were selected, primarily used in the furniture industry: namely, minifix+dowel, butterfly, and trapeze. Joints were positioned at distances of 50 mm and 75 mm from ends (end-distances). Five replications were prepared for each sample group; correspondingly, 60 samples were prepared with an experiment design for 5 replications x 2 material types x 3 joint types x 2 end distances.

All tests were conducted on the SHIMADZU universal test machine at a rate of 10 mm/min until the maximum load was reached or a non-recoverable failure occurred. The test configuration is given in Figure 4. In diagonal tension tests, maximum loads were used to calculate the moment capacities of the joints using Equation 4.

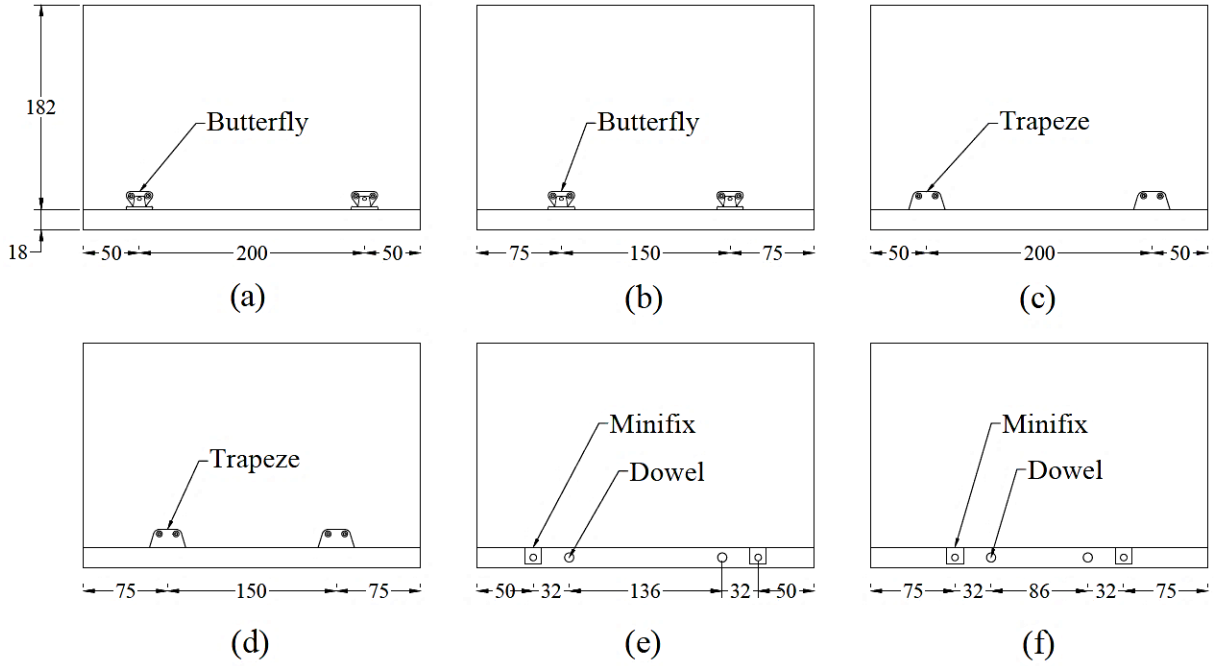


Figure 3. Joint configurations: a. Butterfly connector at the end distance of 50 mm, b. Butterfly connector at the end distance of 75 mm, d. Trapeze connector at the end distance of 50 mm, d. Trapeze connector at the end distance of 75 mm, e. Minifix +dowel at the end distance of 50 mm and f. Minifix +dowel at the end distance of 75 mm

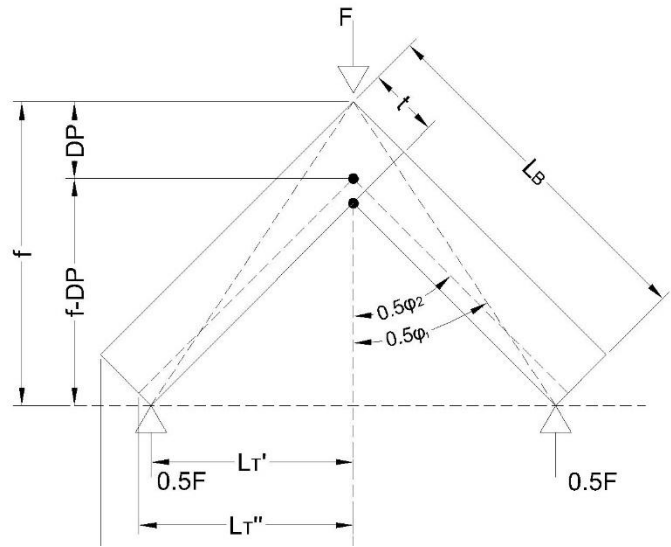


Figure 4. Diagonal tension test configuration

$$M_T = 0.5F_{max} \times L_T' \tag{4}$$

Where, M_T is the moment capacity of the joint in the diagonal tensile test (Nm), F_{max} is the maximum load in the diagonal tensile test (N), and L_T' is the moment arm (m, 0.12728 m).

Equations 5 to 11 were used to calculate the stiffness (K_T , Nm/rad) of the connector in the tension test by considering the angle (φ , rad) after deflection. The dimensional and rotational parameters are given in Figure 4 (Kasal et al., 2023).

$$K_T = \frac{M_T}{\varphi} \tag{5}$$

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \tag{6}$$

$$L_T' = (L_B - t) \times \cos 45 \tag{7}$$

$$0.5\varphi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{L_T'}{f} \right) \tag{8}$$

$$0.5\varphi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{L_T''}{f-DP} \right) \tag{9}$$

$$f = L_T' + (\sin 45 \times t) \tag{10}$$

$$L_T'' = \sqrt{(L_T')^2 + f^2 - (f - DP)^2} \tag{11}$$

Where, DP is deflection point, f is height of the corner joint in test configuration (mm), L_B is length of the butt member, t is thickness of the member and L_T'' is moment arm after deflection.

2.4. Statistical analysis

Data was collected for the presence of statistical significance among all sample groups through MANOVA for three experimental parameters of joints, and Tukey pair-wise comparisons for joint sample groups were examined in SPSS 22.

3. Results and discussion

3.1. Some physical and mechanical properties of the materials used in joints

Table 1 gives results for density, moisture content, MOR and MOE of the PB and MDF. The densities of PB and MDF were 0.66 gr/cm³ and 0.71 gr/cm³, respectively, and the moisture contents were 6.25% and 5.57%, respectively. The MOR for the PB was 13.10 MPa with a standard deviation of 0.90 MPa, and those of the MDF were 36.89 MPa and 1.22 MPa, respectively. Besides, the MOEs for the PB and MDF were 2520.32 MPa with a standard deviation of 106.16 MPa and 3419.00 with a standard deviation of 55.46 MPa.

Figure 5 gives maximum load and deformation at the maximum load of the joints. According to the results, joints made of PB with *minifix* showed the lowest load levels (approximately 200 N) and average deformations (9 to 18 mm). Those of MDF had a maximum load of around 400 N and the deformation between 8 and 15 mm. The highest deformation range was 12 to 21 mm for joints made of PB with a *trapeze connector*. The highest maximum loads and the lowest deformations were observed for the joints made of MDF with *butterfly connectors*.

3.2. Strength and stiffness of corner joints

Figure 6 gives the failure mode of the *butterfly* and *trapeze* connectors. The surface of PB failed due to stresses occurs close to *butterfly* connectors (Figure 6a) or *butterfly* connectors were failed (Figure 6b). In *trapeze* connectors, screws were pulled out from members (Figure 6c) or plastic parts of *trapeze* were failed (Figure 6d). The observed particular failures for the joint with *minifix* were that plugs were stuck out from their hole.

Table 1. Density and moisture content of the materials

Material		Density (gr/cm ³)	Moisture content (%)	Modulus of rupture (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)
PB	Mean	0.66	6.25	13.10	2520.32
	Std Dev*	0.01	0.82	0.91	106.16
	CoV*	1.76%	13.06%	6.94%	4.21%
MDF	Mean	0.71	5.57	36.89	3419.00
	Std Dev*	0.00	0.35	1.22	55.46
	CoV*	0.49%	6.22%	3.31%	1.62%

* Std Dev: Standard deviation and CoV: Coefficient of variation

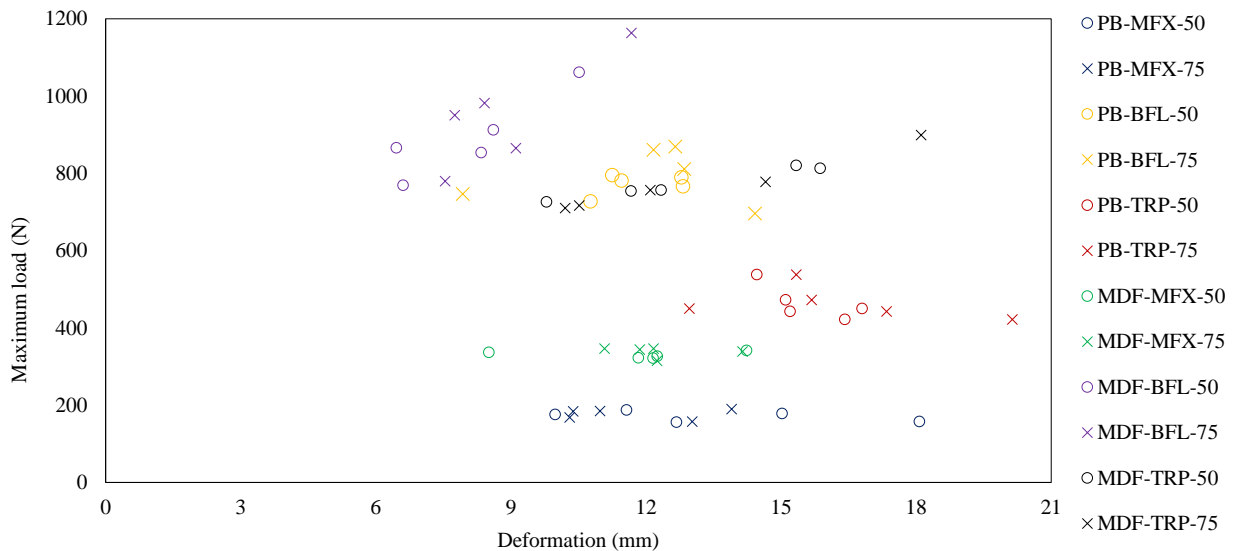


Figure 5. Maximum loads and deformations at the maximum loads for joints in diagonal tension test.

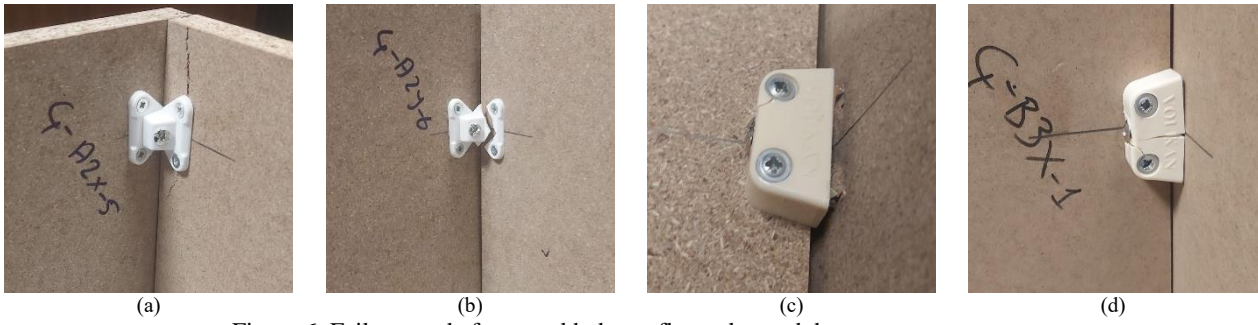


Figure 6. Failure mode for a. and b. butterfly, and c. and d. trapeze connectors.

Figure 7 illustrates the average moment capacity of the corner joints constructed from PB and MDF using three distinct fastening methods: minifix, butterfly, and trapeze. The moment capacities are measured at two different fastener end distances: 50 mm and 75 mm. Joints with *minifix fastener* at an end-distance of 50 mm were 10.88 Nm for PB and 20.99 Nm for MDF, with standard deviations of 0.87 Nm and 0.55 Nm, respectively. Those of 75 mm were 11.26 Nm for PB and 21.54 Nm for MDF, with standard deviations of 0.86 Nm and 0.85 Nm, respectively. The moment capacity of MDF significantly surpasses approximately 92% of that of PB at both 50 mm and 75 mm end distances. Joints with *butterfly connectors* at an end-distance of 50 mm were 49.20 Nm for PB and 56.87 Nm for MDF with standard deviations of 1.74 Nm and 6.87 Nm, respectively. Those of 75 mm were 50.78 Nm for PB and 60.41 Nm for MDF, with standard deviations of 4.75 Nm and 9.17 Nm, respectively. Joints with *butterfly connectors* demonstrated markedly higher tensile strengths compared to those of *minifix* and *trapeze* for both PB and MDF, with MDF again exhibiting approximately 16-19% superior performance over PB. Joints with *trapeze connectors* at an end-distance of 50 mm were 29.61 Nm for PB and 49.06 Nm for MDF with standard deviations of 2.84 Nm and 2.80 Nm, respectively. Those of 75 mm were 32.59 Nm for PB and 49.59 Nm for MDF, with standard deviations of 1.89 Nm and 4.54 Nm, respectively. Joints with *trapeze connectors* also showed higher moment capacities than joints with *minifix*, with MDF displaying approximately an

advantage of 52-65% over PB. In the literature, joints with *trapeze connectors* were 2.5-3 times greater than those of *minifix*. Here, it does not matter which materials or end distances were used; joints made of PB with *trapeze connections* at an end distance of 50 mm were 2.72 and 2.89 times greater than those of *minifix* at an end distance of 50 mm. Similarly, these ratios for those of 75 mm were 2.33 and 2.31 for joints made of MDF, respectively.

An increase in end-distance slightly increased the joint strength for each joint type and material type. The lowest increase for the joint strength with end-distances was 1.08% for the joint with trapeze made of MDF, whereas those made of PB were the highest with an increase of 10.06%.

Table 2 shows the MANOVA results of the moment capacity of the joint with parameters of material types, end-distances, and joint types. According to the results, (i) material types (p-value=0.00), (ii) joint types (p-value=0.00), and (iii) the interaction of the material types and joint types (*A*B*, p-value=0.00) were statistically significant. Otherwise, the end distance (p-value=0.13) was not statistically significant on joint strength. Thus, interactions of material types and end-distances (*A*C*, p-value=0.96), joint types and end-distances (*B*C*, p-value=0.72), and material types, joint types and end-distances (*A*B*C*, p-value=0.69) did not significantly influence the joint strength. Besides, 94.6% represents the model that explains all the variation in the response variable around the average moment capacity of the joints.

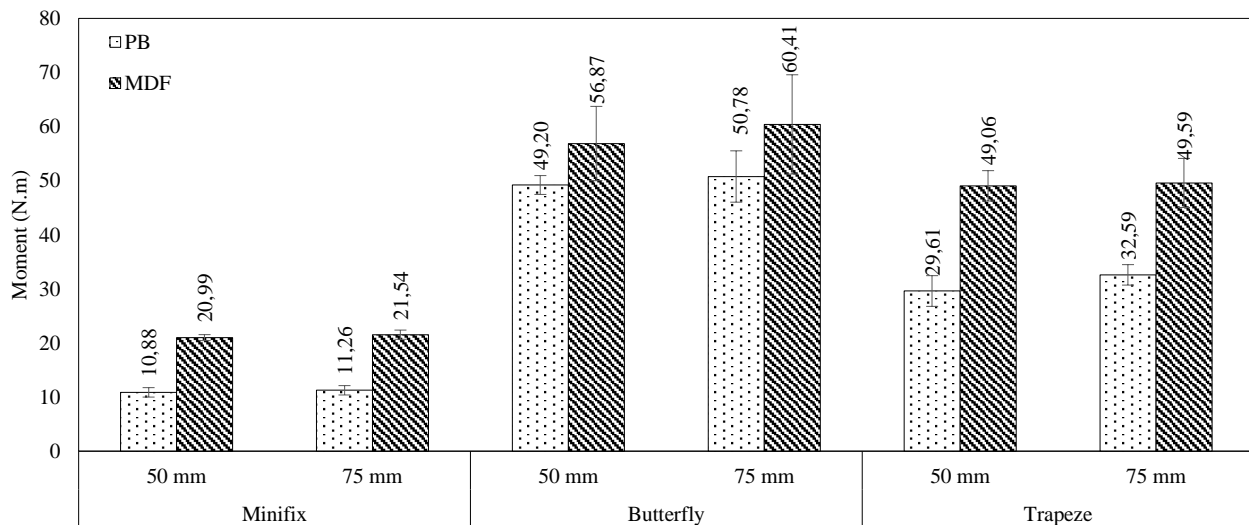


Figure 7. Moment capacity of the corner joints

Table 2. MANOVA for the moment capacity of joint with different parameters

Source	Sum of squares	df**	Mean square	F- value	p-value
Corrected model	17497.72	11	1590.70	95.65	0.00
Intercept	81684.86	1	81684.86	4912.19	0.00
Material type (A)	2289.69	1	2289.69	137.69	0.00
Joint type (B)	14882.51	2	7441.25	447.49	0.00
End-distance (C)	38.01	1	38.01	2.28	0.13*
A * B	263.95	2	131.97	7.93	0.00
A * C	0.05	1	0.05	0.00	0.96*
B * C	11.16	2	5.58	0.34	0.72*
A * B * C	12.35	2	6.17	0.37	0.69*
Error	798.19	48	16.63		
Total	99980.77	60			
Corrected total	18295.91	59			

R² = 0.956 (Adjusted R² = 0.946)

* shows that were not statistically significant, ** df is degree of freedom, *** The significance level is 0.05

Table 3 shows a Tukey pair-wise mean comparison for the average moment capacity of the joints. According to the results, sample groups with different end distances were not significantly different from each other because, regardless of their material types and joint types, any sample group with different end distances shows the same letters. Joints made of MDF with *butterfly connectors* at the end-distance of 75 mm were significantly different from joints with other connectors. There were no significant differences between joints made of MDF with *trapeze connectors* and PB with *butterfly connectors*. In addition, the results indicated no significant differences among joints made of MDF with *minifix connectors* at each end distance and PB with *trapeze connectors* at the end distance of 50 mm.

Figure 8 shows the distribution of the maximum moment and rotation at the maximum moment of the joints. They showed similar patterns in terms of maximum load and deformation at the maximum loads, as expected. The ratios of the maximum moment and the rotations give the stiffness of the joints, which is depicted in Figure 9. The joints made of MDF with *butterfly connectors* had the highest stiffness. Those of end distances of 50 mm had an average stiffness of 605.51 Nm/rad with a standard deviation of 48.68 Nm/rad. In the case of that end distance was 75 mm, they were 627.51 Nm/rad and 65.34 Nm/rad, respectively. In the case in which PB was used, the average stiffness of the joints with butterfly

connectors was 459.85 Nm/rad and 473.64 Nm/rad for end distances of 50 mm and 75 mm, respectively. The lowest average stiffness (15.36 Nm/rad) was observed in the joints made of PB with *minifix* and an end distance of 50 mm. In the case of using *trapeze connectors* in joints, the average stiffness of joints made of PB was as much as joints made of PB with *butterfly connectors*. Joints were getting slightly stiffer with the increase in end distance from 50 to 75 mm. However, joints made of MDF with *trapeze connectors* decreased by 0.75% with an increase in end distance.

Table 3. Tukey pairwise means comparison results for each sample group

Sample groups*	N	Grouping**		
PB-MFX-50	5	A		
PB-MFX-75	5	A		
MDF-MFX-50	5		B	
MDF-MFX-75	5		B	
PB-TRP-50	5		B	C
PB-TRP-75	5			C
MDF-TRP-50	5			D
PB-BFL-50	5			D
MDF-TRP-75	5			D
PB-BFL-75	5			D
MDF-BFL-50	5			D
MDF-BFL-75	5			D
MDF-BFL-75	5			E

* MFX: Minifix, BFL: Butterfly and TRP: Trapeze, ** There was no significant difference between sample groups having the same letter. The significance level is 0.05.

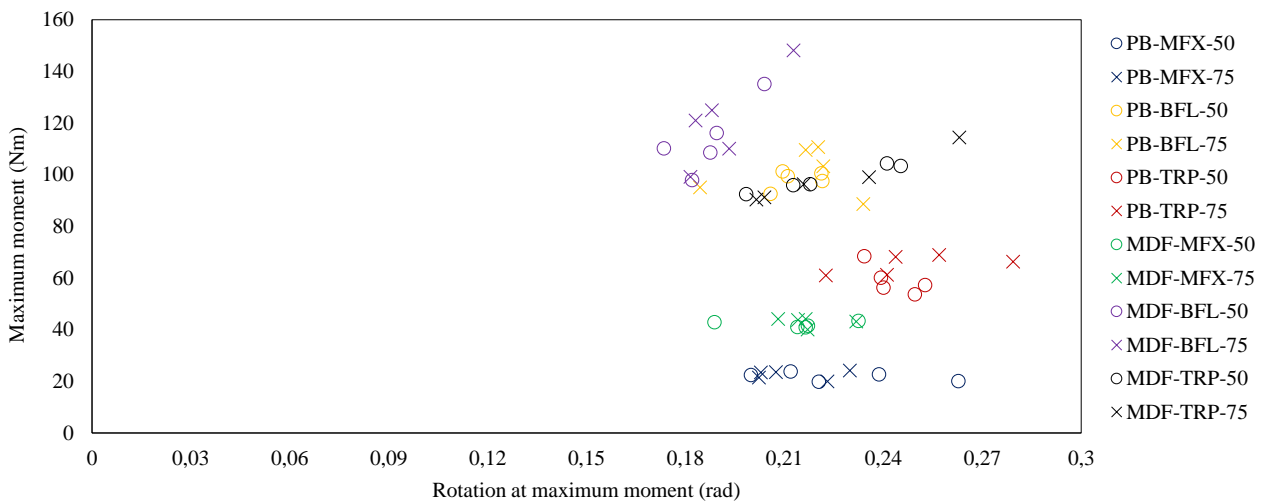


Figure 8. Maximum moments and rotations at the maximum moment of the joints

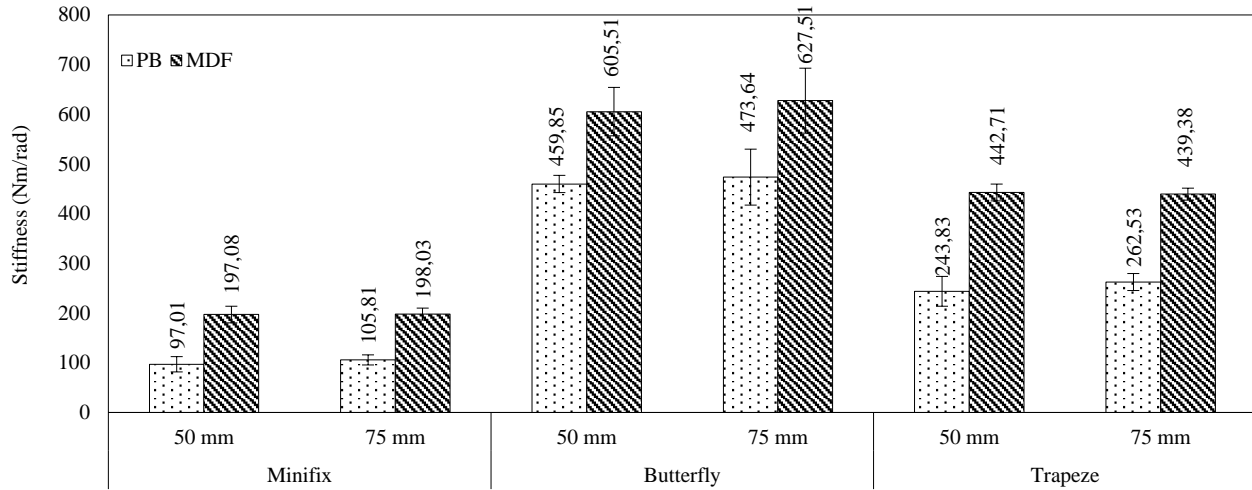


Figure 9. Stiffness of the joints

Table 4 gives MANOVA results of the joint stiffness. According to the results, (i) material types (p-value=0.00), (ii) joint types (p-value=0.00), and (iii) the interaction of the material types and joint types (A*B, p-value=0.00) were statistically significant on the joint stiffness. On the other hand, the end distance (p-value=0.13) was not statistically significant. Thus, interactions of material types and end-distances (A*C, p-value=0.96), joint types and end-distances (B*C, p-value=0.72), and material types, joint types and end-distances (A*B*C, p-value=0.69) did not significantly influence the joint stiffness. Besides, 97.4% represents the model that explains all the variation in the response variable around the average stiffness of the joints.

Table 5 shows a Tukey pair-wise mean comparison for the average stiffness of the joints. According to the results, sample groups with different end distances were not significantly different from each other because, regardless of their material types and joint types, any sample group with different end distances shows the same letters. Joints made of MDF with butterfly connectors were significantly different from joints with other connectors. There were no significant differences between joints made of MDF with trapeze connectors and PB with butterfly connectors. In addition, the results indicated no significant differences among joints made of MDF with minifix connectors and PB with trapeze connectors.

Table 4. MANOVA for stiffness of joint with different parameters

Source	Sum of squares	df	Mean square	F- value	p-value
Corrected model	1875422.53	11	170492.95	163.73	0.00
Intercept	7185952.10	1	7185952.10	6900.96	0.00
Material type (A)	313598.45	1	313598.45	301.16	0.00
Joint type (B)	1537809.98	2	768904.99	738.41	0.00
End-distance (C)	1546.18	1	1546.18	1.48	0.23*
A * B	21230.77	2	10615.38	10.19	0.00
A * C	195.54	1	195.54	0.18	0.67*
B * C	469.07	2	234.53	0.22	0.79*
A * B * C	572.52	2	286.26	0.27	0.76*
Error	49982.22	48	1041.29		
Total	9111356.85	60			
Corrected total	1925404.75	59			

R² = 0.974 (Adjusted R² = 0.968)

* shows that were not statistically significant, ** df is degree of freedom, *** The significance level is 0.05

Table 5. Tukey pairwise mean comparison results for each sample group

Sample Groups	N	Grouping*
PB-MFX-50	5	A
PB-MFX-75	5	A
MDF-MFX-50	5	B
MDF-MFX-75	5	B
PB-TRP-50	5	B
PB-TRP-75	5	B
MDF-TRP-75	5	C
MDF-TRP-50	5	C
PB-BFL-50	5	C
PB-BFL-75	5	C
MDF-BFL-50	5	D
MDF-BFL-75	5	D

* There was no significant difference between sample groups having the same letter. The significance level is 0.05.

Average moment capacity and stiffness of joints in the diagonal tension test affected with the material types and connector types used in the joints but there was no significant effect on them by changing end-distances. Due to mechanical properties and density of the material, material type is one of the key indicators for the joint strength and stiffness. Numerous studies showed the effect of the density of material type Smietanska and Mielczarek (2022) indicated that higher densities provided stronger joints and showed it by observing density profile of PB and MDF. Even if it is well-known, the effect of material types should be taken into consideration because of joinery types. In this study, strength and stiffness of the joints made of MDF with minifix were higher by 85-103% compared to those of PB whereas joints with butterfly connector changed by 15-32%. Joint with minifix showed the lower moment capacity than joint with screw and confirmat connector (Yuksel et al., 2015). This trend is consistent with findings from Krzyzaniak et al., who reported that different fastening methods can lead to substantial variations in the bending moment capacities of corner joints (Krzyzaniak et al., 2021). The butterfly and trapeze connectors provide enhanced tensile strength, likely due to their design, which allows for better load distribution and resistance to forces. Furthermore, the ratios of moment capacities between trapeze and minifix connectors highlight the significant advantages of using trapeze connectors, with values ranging from 2.31 to 2.89 for both PB and MDF at different end distances. This finding is corroborated by Derikvand and Eckelman, who noted that the design and type of connector can dramatically influence the performance of wood joints (Derikvand and Eckelman, 2015). The trapeze connectors not only provide higher moment capacities but also enhance the overall structural integrity of the joints, making them suitable for applications requiring high load-bearing capabilities. Similarly, the difference in stiffness between PB and MDF is significant and aligns with the findings of Krzyzaniak et al. (2021), who reported that the material properties of PB limit its performance in load-bearing applications (Derikvand and Eckelman, 2015). The lowest average stiffness observed in joints made of PB with minifix connectors (15.36 Nm/rad) further emphasizes the limitations of this fastening method, which has been shown to provide inferior load distribution compared to other connector types. Interestingly, the stiffness of joints made with trapeze connectors was comparable to that of joints with butterfly connectors when constructed from PB. This suggests that trapeze connectors may offer a viable alternative for enhancing the stiffness of PB joints, potentially compensating for the inherent weaknesses of the material. Although minimal, the slight increase in stiffness observed with the transition from 50 mm to 75 mm end distances indicates that joint design can still be optimized for improved performance.

Moreover, Zhang and Eckelman (1993) and Liu and Eckelman (1998) stated that an increase in the number of connectors on a joint performed better in bending strength until the zone of influences. The joint strength decreased after an increase in the size of the overlapped areas; the connectors were effective. Hence, an increase in the end, distances would reduce after a certain point. However, 50 mm and 75 mm end distances did not significantly affect joint strength in this study. There were increases quantitatively but not statistically significant. In the literature, an increase in end distance from 50 mm to 60 mm (Karaman, 2021), 50 mm to 80 mm

(Malkacoglu et al., 2013) and from 30 mm to 60 mm (Simek et al. 2008) increased the joint strength but those of 50 to 70 mm (Karaman, 2021) and 30 to 90 mm (Simek et al., 2008) reduced the joint strength. Therefore, it should be notable to discuss finite element analysis of the joint to examine the stress zone of influences under loading and whether there is an overlapped area or not. The increase in moment capacity with greater end distances, particularly the 10.06% increase observed for PB joints with trapeze connectors. This finding supports the conclusions drawn by Yuksel et al., who emphasized the importance of fastener placement in maximizing joint strength (Yuksel et al., 2014). The slight increase in moment capacity with end distance, while not as pronounced for MDF, still indicates a beneficial effect of increased fastener engagement in the material. The increase in stiffness with the longer end distance is also supported by findings from Yuksel et al. (2014), who noted that increased fastener engagement generally leads to enhanced joint stiffness (Krzyzaniak et al., 2021). However, the decrease in stiffness of MDF joints with trapeze connectors by 0.75% when increasing the end distance from 50 mm to 75 mm is noteworthy. This finding suggests that while trapeze connectors generally enhance joint performance, there may be specific design considerations or material interactions that warrant further investigation. It is essential to explore the underlying mechanisms that contribute to this reduction in stiffness, as understanding these factors could inform future design improvements.

4. Conclusion

This study investigated strength and stiffness of the joint by considering joint types, material types, and end distances. Joints made of MDF and PB with minifix, butterfly, and trapeze connectors were examined under diagonal tensile load, and the consequences below were withdrawn:

- MDF consistently exhibits superior diagonal tensile strength and stiffness relative to PB across all joint types and fastener distances.
- Among the fastening methods, butterfly connectors exhibited the highest tensile strength and stiffness for both PB and MDF, followed by Trapeze connectors and minifix joints with the lowest strength and stiffness.
- An increase in fastener distance from 50 mm to 75 mm generally correlates with a slight increase in tensile strength and stiffness, although these increases were not substantial.

This data underscores the superior mechanical properties of MDF compared to PB in corner joint applications. The butterfly connector configuration was also identified as the most effective joinery method for maximizing strength and stiffness in the diagonal tension test, irrespective of the material used.

References

- Dalvand, M., Ebrahimi, G., Tajvidi, M., Layeghi, M., 2014. Bending moment resistance of dowel corner joints in case-type furniture under diagonal compression load. *Journal of Forestry Research*, 25(4): 981-984. DOI: 10.1007/s11676-014-0481-y
- Demirci, S., Diler, H., Kasal, A., Erdil, Y. Z., 2020. Effects of wood species, number of teeth, and adhesive type on moment capacities of box-joints. *Bioresources*, 15(2): 3136-3146. DOI: 10.15376/biores.15.2.3136-3146
- Derikvand, M., Eckelman, C. A., 2015. Bending moment capacity of L-shaped mitered frame joints constructed of MDF and particleboard. *Bioresources*, 10(3): 5677-5690. DOI: 10.15376/biores.10.3.5677-5690
- Hajdarevic, S., Martinovic, S., 2015. The effect of dowel spacing on the stress and strain of case-type furniture corner joint. *Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium: Intelligent Manufacturing & Automation*, 21-24 October, Zadar, Croatia, pp. 391-399.
- Karaman, A., 2020. The effect of fastener type (Clamex P14 and Tenso P14) and adhesive type on compression and tension performance. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 22(1): 144-152. DOI: 10.24011/barofd.679997
- Karaman, A., 2021. An investigation on the effects of wooden species of dowels and the end distance of catch connectors (Clamexp14) on the bending moment of L-type corner joints for RTA (ready to assemble) furniture. *Wood and Fiber Science*, 53(1): 48-61.
- Kasal, A., Smardzewski, J., Kuskun, T., Guray, E., 2023. Analyses of L-type corner joints connected with auxetic dowels for case furniture. *Materials*, 16(13): 4547. DOI: 10.3390/ma16134547
- Klos, R., Langova, N., 2023. Determination of reliability of selected case furniture constructions. *Applied Sciences*, 13: 4587. DOI: 10.3390/app13074587
- Krzyzaniak, L., Smardzewski, J., 2019. Strength and stiffness of new designed externally invisible and demountable joints for furniture cases. *Engineering Structures*, 199: 109674. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109674
- Krzyzaniak, L., Smardzewski, J., 2021. Impact damage response of L-type corner joints connected with new innovative furniture fasteners in wood-based composites panels. *Composite Structures*, 255: 113008. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113008
- Kuskun, T., Kasal, A., Caglayan, G., Ceylan, E., Bulca, M., Smardzewski, J., 2023. Optimization of the cross-sectional geometry of auxetic dowels for furniture joints. *Materials*, 16: 2838. DOI: 10.3390/ma16072838
- Liu, W. Q., Eckelman, C. A., 1998. Effect of number of fasteners on the strength of corner joints for cases. *Forest Products Journal*, 48(1): 93-95.
- Malkacoglu, A., Cetin Yerlikaya, N., Cakiroglu, F. L., 2013. Effects of number and distance between dowels of ready-to-assemble furniture on bending moment resistance of corner joints. *Wood Research*, 58(2): 671-680.
- Petrova, B., Jivkov, V., Yavorov, N., 2023. Possibilities for efficient furniture construction made of thin and ultra-thin materials by using mitre joints. *Materials*, 16: 6855. DOI: 10.3390/ma16216855
- Simek, M., Haviarova, E., Eckelman, C. A., 2008. The end distance effect of knock-down furniture fasteners on bending moment resistance of corner joints. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunnenensis*, 56(2): 203-210.
- Smietanska, K., Mielczarek, M., 2022. Strength properties of furniture corner joints constructed with different wooden connectors and wood-based materials. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Forest and Wood Technology*, 118: 56-66.
- TS EN 310, 1999. Ahşap esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 323, 1999. Ahşap esaslı levhalar – Birim hacim ağırlığının tayini. TSE, Ankara
- TS EN 326-1, 1999. Ahşap esaslı levhalar – Numune alma, kesme ve muayene. TSE, Ankara
- Yerlikaya, N. Ç., Aktaş, A., 2012. Enhancement of load-carrying capacity of corner joints in case-type furniture. *Materials & Design*, 37: 393-401.
- Yuksel, M., Kasal, A., Erdil, Y. Z., Acar, M., Kuskun, T., 2015. Effects of the panel and fastener type on bending moment capacity of L-type joints for furniture cases. *ProLigno*, 11(4): 426-431.
- Zhang, J. L., Eckelman, C. A., 1993. Rational design of multi-dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 43(11/12): 52-58.

Saponin kullanımının PP esaslı odun-plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi

İlkay Atar^{a,*} 

Öz: Bu çalışmada şişen alev geciktirici ve odun ununun kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Şişen alev geciktirici olarak saponin (SP), amonyum polifosfat (APP) ve pentaeritritol (PER) kullanılmıştır. Üretimlerde odun unu %0-10, APP %0-18 ve PER %0-6 oranında kullanılmıştır. SP'nin kompozit malzemenin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisini belirlemek amacıyla %0-2-4-6-8 oranında kullanılmıştır. Toplamda 20 farklı kombinasyonda kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Üretimi yapılan kompozitlerin yoğunluk değeri, çekme direnci (ÇD), çekme elastikiyet modülü (ÇM), kopmada uzama (KU), eğilme direnci (ED), eğilmede elastikiyet modülü (EM), darbe direnci (DD), yatay yanma ve limit oksijen indeksi (LOI) değerleri tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre odun unu, APP/PER ve SP ilavesi ile çekme direncinde ve kopmada uzama değerlerinde azalma görülürken çekme elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direncinde değerlerinde artış meydana gelmiştir. Dolgu maddelerinin ilavesi ile örneklerin yoğunluklarında artış tespit edilmiştir. Kompozit malzemelere APP/PER ilave edilmesi yanma özelliklerini iyileştirmiştir. Yatay yanma testinde APP/PER katkılı örneklerde alev ilerleme yapmamış ve sönmüştür. SP kullanım oranının artması ile yanma hızında düşme ve LOI değerinde artış tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Saponin, Amonyum polifosfat (APP), Şişen alev geciktirici, Polipropilen (PP)

Effect of saponin usage on physical, mechanical and fire properties of PP based wood-plastic composites

Abstract: In this study, the effects of intumescent flame retardant and wood flour on the physical, mechanical and combustion properties of fire materials were investigated. Saponin (SP), ammonium polyphosphate (APP) and pentaerythritol (PER) were used as intumescent flame retardants. 0-10% wood flour, 0-18% APP and 0-6% PER were used in production. SP was used at 0-2-4-6-8% ratio to determine the effect on the physical, mechanical and fire properties of the composite material. A total of 20 different combinations of composite materials were produced. The density value, tensile strength (TS), tensile modulus of elasticity (TM), elongation at break (EB), flexural strength (FS), flexural modulus (FM), impact strength (IS), horizontal burning and limit oxygen index (LOI) properties of the produced composites were determined. According to the test results, with the addition of wood flour, APP/PER and SP, there was a decrease in tensile strength and elongation at break values, while there was an increase in tensile modulus of elasticity, flexural strength, flexural modulus and impact strength values. An increase in the density of the samples was detected with the addition of fillers. Addition of APP/PER to composite materials improved their fire properties. In the horizontal combustion test, the flame did not progress and was extinguished in the APP/PER added samples. A decrease in burning rate and an increase in LOI value were detected with the increase in SP usage rate.

Keywords: Saponin, Ammonium polyphosphate (APP), Intumescent flame retardant, Polypropylene (PP)

1. Giriş

Polipropilen (PP) işlenebilirliği kolay, kimyasal kararlılığa sahip, yüksek sıcaklık dayanımlı ve düşük fiyatı sayesinde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Maddah, 2016). Fakat PP malzemeler düşük yangın performansı sergilerler. Yanma anında şiddetli damlama yaparak yanmamış alandaki malzemelerin tutuşmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden bu malzemelerin yangın geciktiricilerle muamele edilmesini gerektirir (Istomina vd., 1996; Weil ve Levchik, 2008). PP'nin yanıcılığının üstesinden gelmek için, çevre dostu olmaları ve yüksek verimlilikleri nedeniyle şişen alev geciktiricilerin (IFR) eklenmesi üzerine ilgi çokça artmaktadır (Wen vd., 2013).

Genel olarak şişen alev geciktiriciler üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlar: asit kaynağı (Amonyum polifosfat (APP)), karbon kaynağı (Pentaeritritol (PER)) ve gaz kaynağından (melamin (MEL)) oluşmaktadır (Vandersall, 1971). Ancak giderek artan çevre koruma bilinci ile melamin, halojenler ve halojen türevleri gibi potansiyel kirlilik riski taşıyan bazı katkı maddelerinin kullanılması hoş karşılanmamaktadır (Qian vd., 2015). Son yıllarda doğa dostu alev geciktirici teknolojilerinin geliştirilmesi insanların ve araştırmacıların dikkatini önemli ölçüde çekmiştir. PP, LDPE, PA6 ve EVA için yeni nesil doğa dostu yangın geciktiriciler olarak siklodekstrin nano süngerler gibi doğal karbonhidratlar kullanılmıştır (Alongi vd., 2010; Alongi vd., 2012). Ayrıca polilaktik asit (PLA) ve LDPE bazlı

✉ ^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46050, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): iatar@ksu.edu.tr

✓ **Received** (Geliştarih): 01.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 09.09.2024



Citation (Atıf): Atar, İ., 2024. Saponin kullanımının PP esaslı odun-plastik kompozitlerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 483-493.

DOI: [10.18182/tjf.1494050](https://doi.org/10.18182/tjf.1494050)

malzemelerde β -siklodekstrin kömür kaynağı olarak uygulanmıştır (Le Bras, vd., 1997; Feng vd., 2011). Bunlara ek olarak polyester-pamuk kumaşlar için kullanılacak yangın geciktiricilerde hem karbon kaynağı hem de köpük ajanı olarak bir biokarbonhidrat olan kitosan (Carosio vd., 2012) ve PLA bazlı kompozitlerde şişen alev geciktirici olarak APP, nişasta ve lignin kullanılmıştır (Reti vd., 2008).

Şişen alev geciktirici formüllerde köpük oluşumunu sağlayacak doğal maddelerden bir diğersaponinlerdir. Saponinler (SP) birçok bitki tarafından sentezlenen sekonder metabolitlerdir (Arif vd., 2009). Saponin doğal iyonik olmayan bir yüzey aktif maddesi, enzimlerle toksik olmayan bileşiklere dönüşebilir ve çevre kirliliğine sebep olmayan bir maddedir (Qian vd.,2015). Ayrıca,saponinkarbondioksit'i (CO_2) güçlü absorplama özelliğinden dolayı gaz beton üretiminde, köpüklü yangın tüplerinde köpük ajanı olarak kullanılmaktadır (Ruter, 2002;Jiang ve Sun, 2003).

Yapılan son çalışmalarda saponin şişen alev geciktirici vernik formülünde belirli oranlarda kullanılarak kontrplağın yüzeylerine uygulama yapılmıştır. Saponinin yüksek sıcaklıklarda karbon ve su buharına dönüştüğü ve kömür oluşumu için diğer bileşiklerle bağlanabildiği tespit edilmiştir (Qian vd.,2015). Diğer bir çalışmada saponin katkılı şişen alev geciktirici vernik uygulamalarında piroliz performansı incelenmiştir. Çalışma sonucunda saponinin kömür tabakasının mikro yapısında, alev geciktirici ve piroliz performansında önemli oranda etkili olduğu görülmüştür (Qian vd., 2019).

Literatür araştırmalarında saponinin PP bazlı odun-plastik kompozitlerde yangın geciktirici olarak kullanılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada doğal ve çevre dostu bir malzeme olan saponin ile yangına dayanıklı kompozit malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda saponinin farklı oranlarda şişen alev geciktirici formülüne eklenerek kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada polimer malzeme olarak PETKİM firmasından temin edilen polipropilen (PP) (EH-102) kullanılmıştır.Şişen alev geciktirici formülünde; amonyum polifosfat (APP), pentaeritritol (PER), saponin (SP) kullanılmıştır. Odun-plastik kompozitler için %10 oranında 60mesh boyutunda kızılçam odunu kullanılmıştır. Odununu ve diğer yangın geciktirici katkı maddeleri ile birlikte toplam dolgu maddesi %42'ı bulmaktadır. Üretimlerde dolgu maddesi oranı %40'ı geçtikçe malzemenin akışkanlığında azalma olmakta ve üretimi zorlaşmaktadır. Ekstruder ve enjeksiyon üretimlerinin sorunsuz yapılabilmesi için odununu oranı %10 olarak belirlenmiştir.APP (EXOSEL APP) ve PER kimyasalları Ataman Kimya firmasından, saponinShaanxiRainwoodBiotechCo., Ltd.'den satın alınmıştır. Kızılçam odununu kereste atölyesinden temin edilmiştir.

Şişen alev geciktiricili kompozit üretiminde bağlayıcı olarak PP, asit sağlayıcı olarak Amonyum polifosfat (APP), karbon sağlayıcı olarak pentaeritritol (PER) kullanılmıştır. Saponin karışımında hem karbon kaynağı hem köpük ajanı olarak görev almıştır. Çizelge 1'de üretim reçetesi verilmiştir.

2.2. Yöntem

Bu çalışma kapsamında dolgu maddesi olarak kullanılan kızılçam odununu sarsak elek yardımı ile sınıflandırılmış ve 60mesh üzerinde kalan malzemeler üretimde kullanılmıştır. Üretim reçetesinde belirlenen malzemeler mekanik karıştırıcıya koyularak homojen bir şekilde karışması (5dk) sağlanmıştır. Daha sonra karışımlar ekstruder makinesinden geçirilmiş (Sıcaklıklar: 180-185-195-200°C) ve granül halinde odun-plastik karışımı elde edilmiştir (Şekil 1). Elde edilen granüller kırıcı makinesinde küçük parçalara ayrılarak pelet haline getirilmiştir. Peletler 103°C de etüvde ağırlıkları değişmeyinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra enjeksiyon kalıplama makinesinde (Sıcaklıklar: 180-190-200°C) test örnekleri üretilmiştir. Üretilen örnekler test edilmeden önce 20°C sıcaklıkta ve %65 bağıl nemdeki iklimlendirme kabininde kondisyonlanmaya bırakılmıştır. Daha sonra örneklerin mekanik, fiziksel ve yanma özellikleri belirlenmiştir. Şekil 2'de üretim deseni verilmiştir.



Şekil 1. Ekstruder üretimi yapılan grupların granül hali
Figure 1. Granule form of extruder produced groups

Çizelge 1. Üretim Reçetesi
Table 1. Production Recipe

Örnek kodu	Polipropilen(%)	Odun unu(%)	APP (%)	PER (%)	SP (%)
PP-0	100	0	0	0	0
PP-2	98	0	0	0	2
PP-4	96	0	0	0	4
PP-6	94	0	0	0	6
PP-8	92	0	0	0	8
PP-AP0	76	0	18	6	0
PP-AP2	74	0	18	6	2
PP-AP4	72	0	18	6	4
PP-AP6	70	0	18	6	6
PP-AP8	68	0	18	6	8
PPO-0	90	10	0	0	0
PPO-2	88	10	0	0	2
PPO-4	86	10	0	0	4
PPO-6	84	10	0	0	6
PPO-8	82	10	0	0	8
PPO-AP0	66	10	18	6	0
PPO-AP2	64	10	18	6	2
PPO-AP4	62	10	18	6	4
PPO-AP6	60	10	18	6	6
PPO-AP8	58	10	18	6	8

Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Eğilme Özellikleri: Zwick/Roell Z10 Universal Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek 2mm/dk. hızda test edilerek eğilme mukavemeti (MPa) ve eğilmede elastikiyet modülü (MPa) değerleri ASTM D 790 (2010)'a göre belirlenmiştir. Çekme Direnci: Zwick/Roell Z10 Universal Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek ASTM D 638 (2010)'e göre belirlenmiştir. Darbe Direnci: Zwick/Roell HIT5.5P Test Makinesi kullanılarak 5 adet örnek ASTM 256 (2010)'ya göre belirlenmiştir. Örneklerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve darbe direnci değerleri sırasıyla aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır.

$$ED = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot h} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

Eşitlikte; ED: Eğilme direncini (MPa), Pmax: Kırılma anındaki maksimum kuvveti (N), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: örnek genişliğini (mm), h: örnek kalınlığını (mm) ifade etmektedir.

$$EEM = \frac{\Delta F \cdot L}{4 \cdot b \cdot h \cdot \Delta f} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Eşitlikte; EEM: Eğilmede elastikiyet modülünü (MPa), ΔF : Deformasyonu sağlayan kuvveti (n), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: örnek genişliğini (mm), h: örnek kalınlığını (mm), Δf : Eğilme miktarını (mm) ifade etmektedir.

$$\text{ÇD: } \frac{P_{max}}{a \cdot b} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Eşitlikte; ÇD: Çekme direncini (MPa), Pmax: Maksimum kuvveti (N), a: Örnek kalınlığını (mm), b: Örnek genişliğini (mm) ifade etmektedir.

$$\text{ÇEM: } \frac{F}{L} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Eşitlikte; F: Deformasyonu gerçekleştiren kuvveti (N), L: Deformasyon miktarını (mm) ifade etmektedir.

$$KU: \frac{\Delta L}{L_0} \text{ (%) } \quad (5)$$

Eşitlikte; Kopmada uzama miktarını (%), ΔL : Birim uzama miktarını (mm), L_0 : Örnek uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.

$$DD: \frac{Q}{a \cdot b} \text{ (kJ/m}^2\text{)} \quad (6)$$

Eşitlikte; DD: Darbe direncini (kJ/m²), Q: Örneğin kırılması için gerekli enerji miktarını (kJ), a: Örnek kalınlığını (m), b: Örnek genişliğini (m) ifade etmektedir.

Fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Yoğunluğun belirlenmesinde EN 323 (1993) standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Her grup için en az 5 adet 25x25xörnek kalınlığı (mm) boyutlarında deney numuneleri kullanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları 0,01g duyarlılıktaki analitik terazide kuru olarak belirlenerek özgül ağırlıkları (Do) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (7).

$$D_0 = \frac{M_0}{V_0} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (7)$$

Eşitlikte; Mo: örnek ağırlığını (g), Vo: örneğin hacimini (cm³) ifade etmektedir.

Yanma özelliklerinin belirlenmesi

Oksijen limit indeksi (LOI): Şişen alev geciktiricili kompozit malzemelerin yangın geciktirici özellikleri üzerine saponinin etkisi oksijen limit indeksi analizi ile belirlenmiştir. Malzemelerin yanması için gerekli oksijen oranları belirlenen ISO 4589-2 (2017) standardına göre belirlenmiştir.

Yatay yanma testi: Üretilen örneklerin yanma hızlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Her grup için 5 adet test örneği test edilmiştir. UL 94 (2021) standardına (Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances) göre testler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Örnekler tutuşturulacağı kenardan 25 mm ve 75 mm olacak şekilde çizgiler konuldu. Örnekler tutuşturulduktan sonra ilk 25 mm'lik işaretli alanın yanmasının ardından 75 mm'lik alanın yanma süresi belirlenmiştir. Yatay yanma (YH) hızı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (8).

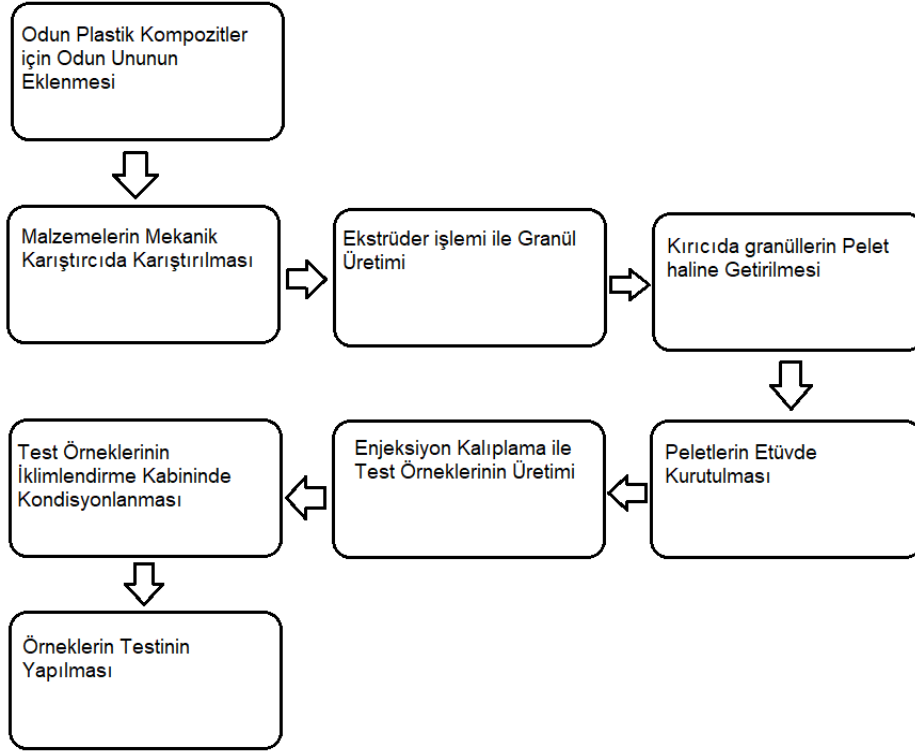
$$YH = \frac{A_{75mm}}{s} \text{ (mm/dk)} \quad (8)$$

Eşitlikte; YH: Yanma hızını (mm/dk), A_{75mm} : Yanma uzunluğunu (mm), S: alevin 75 mm mesafeyi yakma süresini (dk) ifade etmektedir.

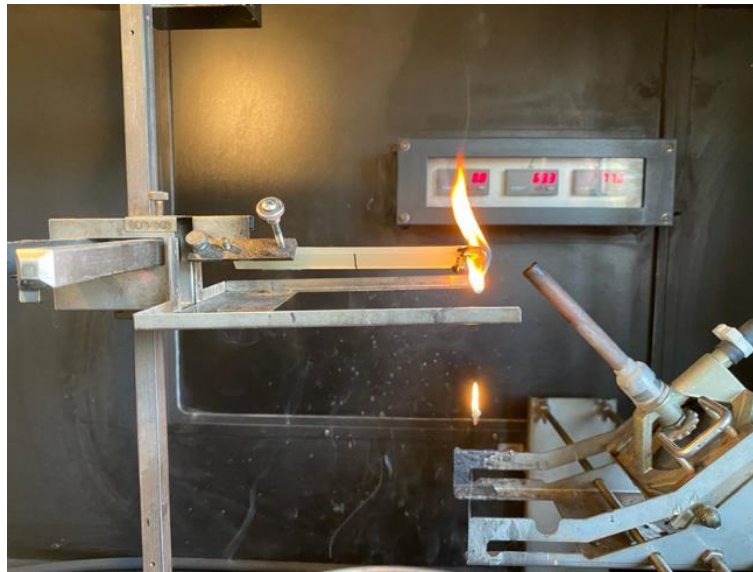
Elde edilen verilerin SPSS programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak istatistiksel analizleri yapılmıştır. Örnek kombinasyonlarının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca bu grupların ortalamaları arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Üretimi gerçekleştirilen örneklerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, darbe direnci, yoğunluk, yatay yanma ve LOI testleri yapılmıştır. Çizelge 2’de test sonuçlarının ortalama değerleri verilmiştir.



Şekil 2. Üretim deseni
Figure 2. Production pattern



Şekil 3. Yatay yanma testi
Figure 3. Horizontal burn test

Çizelge 2. Kompozit malzemelerin fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri
Table 2. Physical, mechanical and combustion properties of composite materials

Numune adı	Çekme direnci (MPa)	Çekmede elastikiyet modülü(MPa)	Kopmada uzama (%)	Eğilme direnci (MPa)	Eğilmede elastikiyet modülü(MPa)	Darbe direnci (kJ/m ²)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yatay yanma (mm/dk)	LOI (%)
PP-0	29,12	678,05	420,00	35,27	1034,84	2,50	0,89	19,20	18,00
PP-2	29,70	680,00	18,93	41,67	1336,72	2,66	0,90	14,25	19,00
PP-4	28,82	726,62	16,71	39,43	1299,37	2,85	0,91	13,94	19,00
PP-6	28,00	717,30	16,09	41,60	1441,08	3,33	0,92	13,35	20,00
PP-8	25,95	787,73	13,75	39,78	1412,30	2,97	0,93	12,95	20,00
PP-AP0	24,76	841,89	18,66	40,81	1526,94	2,92	0,99	-	23,00
PP-AP2	24,78	903,08	30,40	47,27	2074,80	3,10	1,01	-	25,00
PP-AP4	24,13	920,16	22,55	44,52	1988,13	3,20	1,01	-	25,00
PP-AP6	24,36	930,82	12,62	46,33	2252,61	2,86	1,03	-	26,00
PP-AP8	23,44	937,66	11,32	43,90	2181,36	2,95	1,04	-	27,00
PPO-0	26,42	716,14	8,74	44,11	1567,92	2,34	0,91	31,10	19,00
PPO-2	26,30	804,64	6,78	42,65	1538,42	2,17	0,92	30,67	19,00
PPO-4	25,17	792,12	7,15	45,93	1769,55	2,73	0,93	29,44	19,00
PPO-6	25,37	809,41	7,44	44,35	1764,85	2,81	0,95	28,42	20,00
PPO-8	24,05	835,73	6,40	40,24	1672,17	2,54	0,96	25,31	20,00
PPO-AP0	20,70	826,10	9,51	39,72	1651,83	2,65	1,01	-	20,00
PPO-AP2	21,21	1043,35	4,88	43,99	2472,63	2,59	1,02	-	21,00
PPO-AP4	21,38	1145,82	4,12	42,13	2703,29	2,83	1,04	-	22,00
PPO-AP6	21,00	1118,00	3,70	41,57	2681,86	2,65	1,04	-	24,00
PPO-AP8	20,11	1100,95	3,67	40,40	2821,86	2,60	1,06	-	24,00

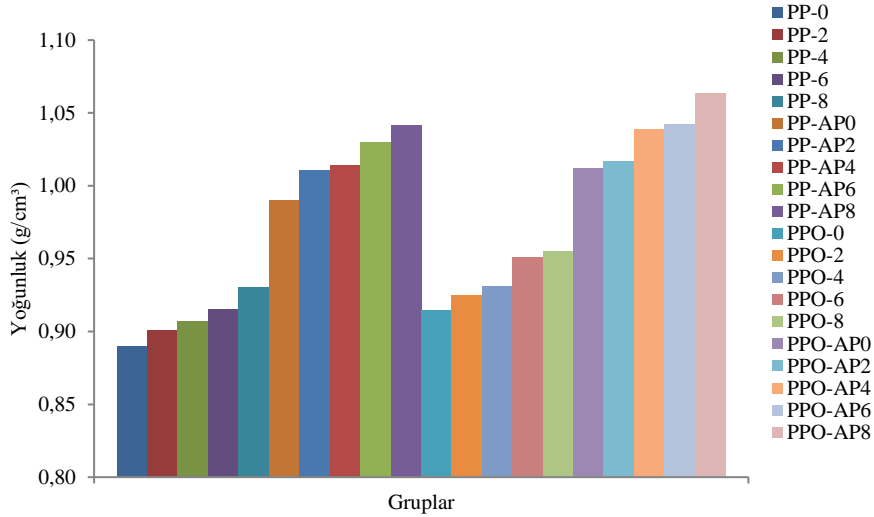
Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre odununu, APP/PER ve SP kullanımının kompozit malzemenin yoğunluk değeri üzerine önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Odununu ve APP/PER ilavesi ile yoğunluk değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek yoğunluk değeri PPO-AP8 grubunda bulunurken en düşük yoğunluk değeri PP-0 (kontrol) grubunda tespit edilmiştir. Kombinasyona eklenen dolgu maddelerinin yoğunluğunun polimer matrisine daha yüksek olması sebebiyle yoğunlukta artış meydana gelmiştir. Literatürde de benzer sonuçlara rastlanmıştır (Atar vd., 2021; Başboğa vd., 2020). Üretimlerde SP kullanım oranının artışı ile birlikte örneklerin yoğunluğunda da artış tespit edilmiştir. Üretimi yapılan grupların yoğunluk grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

Çekme direnci değerlerine bakıldığında odununu, APP/PER ve SP kullanımının istatistiksel olarak önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Üretimlerde odununu ve APP/PER ilavesi ile örneklerin çekme dirençlerinde azalma meydana getirmiştir. En yüksek çekme direnci PP-2 grubunda, en düşük çekme direnci PPO-AP8 grubunda tespit edilmiştir. Genel olarak saponin kullanım oranının artması ile örneklerin çekme direncinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Şekil 5'te örneklerin çekme direnci grafiği verilmiştir. Literatürde de polimer matrisine dolgu maddesi ilavesi ile çekme direncinin düştüğü görülmektedir (Bledzki ve Faruk 2003; Yang vd., 2004; Yang vd., 2007; Maziero vd., 2019; Çavuş, 2020; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2023; Kılıç vd., 2024). PP matrisi ile dolgu maddesi arasında zayıf bir bağ olduğu ve polimer matrisindeki bağın dolgu maddesi katılım düzeyinin artmasıyla azaldığı, dolayısıyla çekme direnci değerlerinin azaldığı düşünülmektedir. Şekil 5'te örneklerin çekme direnci grafiği verilmiştir.

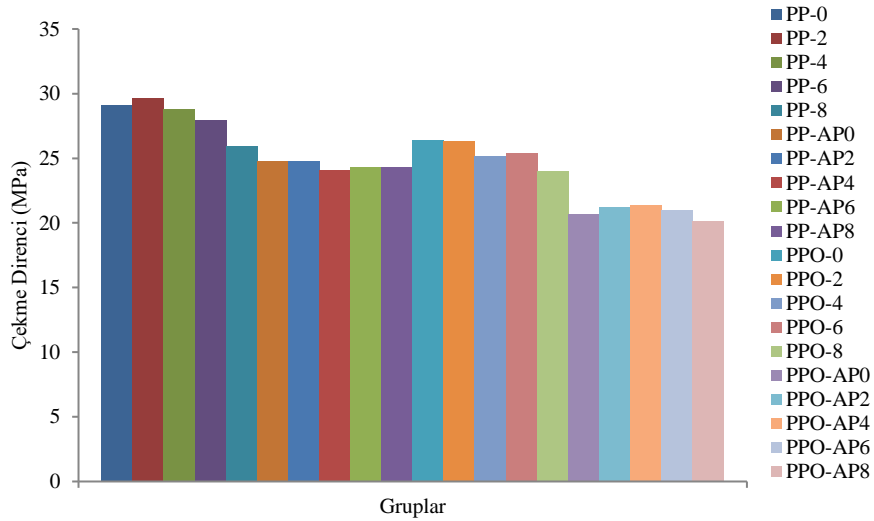
İstatistik analiz sonuçlarına göre çekmede elastikiyet modülü üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımının

önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Odununu ve APP/PER kullanımı ile örneklerin çekmede elastikiyet modülü (ÇM) değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek ÇM değeri PPO-AP4 grubunda bulunurken en düşük ÇM değeri PP-0 grubunda tespit edilmiştir. Odununu kullanılmayan örneklerde SP kullanım oranı artması ile ÇM değerinde artış meydana gelmiştir. Odununu kullanılan örneklerde SP kullanımı orantısız artış veya azalış göstermemiştir. Kullanılan dolgu maddelerinin modül değerinin polimer matrisine yüksek olması sebebiyle dolgu ilavesi ile ÇM değerinde artış görülmektedir. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Zaini vd., 1996; Stark ve Berger, 1997; Yuan vd., 2008; Çavdar vd., 2011; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2023; Kılıç vd., 2024). Şekil 6'da örneklerin çekmede elastikiyet modülü grafiği verilmiştir.

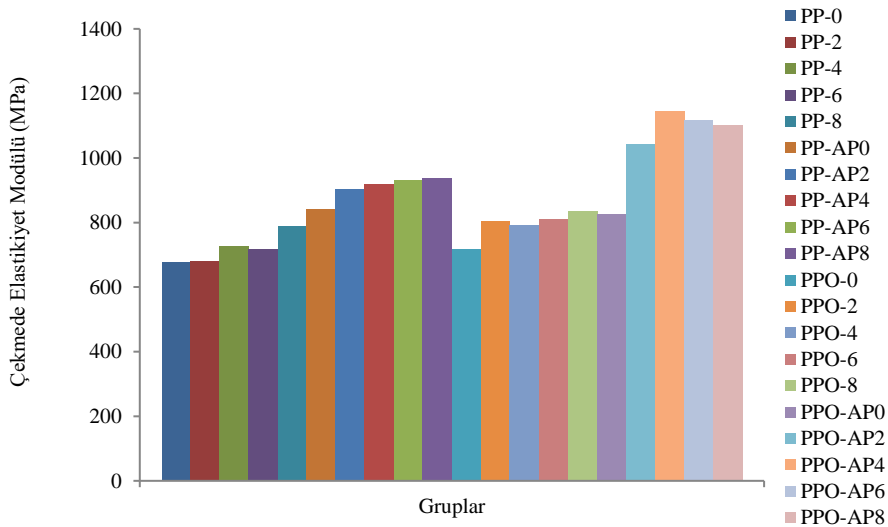
Kopmada uzama test sonuçları incelendiğinde odununu, APP/PER ve SP kullanımının önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Genel olarak Odununu ve APP/PER ilavesi ile örneklerin kopmada uzama (KU) değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. En yüksek KU değeri PP-0 grubunda tespit edilirken en düşük KU değeri PPO-AP8 grubunda bulunmuştur. PP grubu test süresince kopmamış makinenin maksimum seviyesine kadar çekme işlemi devam etmiştir. Üretimde SP kullanım oranının artması ile örneklerin KU değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalar da tespit edilmiştir (Başboğa vd., 2022; Kılıç vd., 2024). Odun-plastik kompozitlerde lignoselülozik ve dolgu maddelerinin artışı ile kompozit malzemelerin sertliği de artmaktadır. Böylece kompozit malzemenin elastikliği azalır ve daha rijit bir yapıya sahip olur. Sonuç olarak kopmada uzama değerinde azalma meydana gelir (Zaini vd., 1996). Şekil 7'de örneklerin kopmada uzama grafiği verilmiştir.



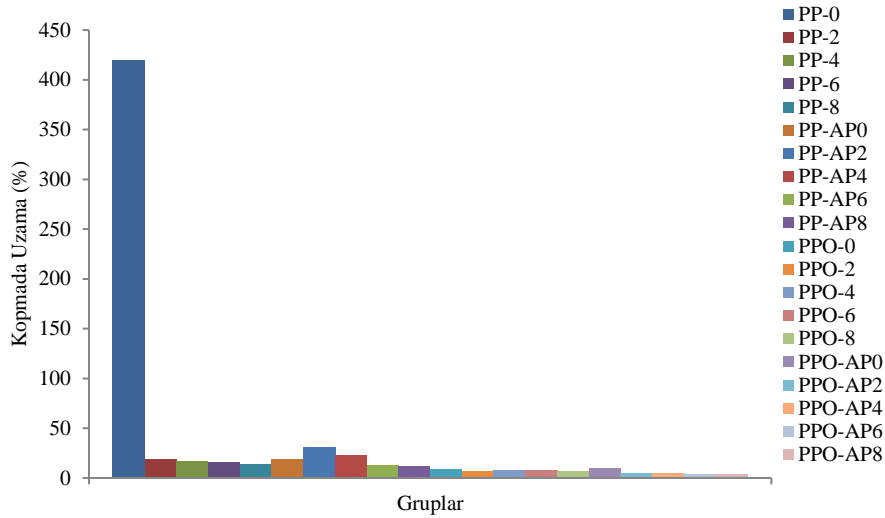
Şekil 4. Üretilen örneklerin yoğunluk değeri bar grafiği
Figure 4. Bar graph of density value of produced samples



Şekil 5. Üretilen örneklerin çekme direnci değeri bar grafiği
Figure 5. Bar graph of tensile strength value of produced samples



Şekil 6. Üretilen örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri bar grafiği
Figure 6. Bar graph of tensile modulus of the produced samples



Şekil 7. Üretilen örneklerin kopmada uzama değeri bar grafiği
Figure 7. Bar graph of elongation value at break of produced samples

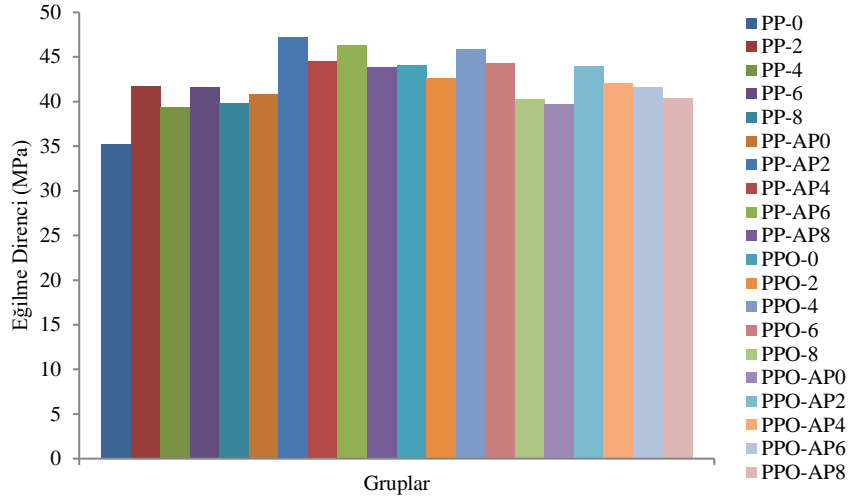
Eğilme direnci (ED) değerleri incelendiğinde odununu, APP/PER ve SP kullanımının istatistiksel olarak önemli oranda etkili olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğine kıyasla odununu, APP/PER ve SP kullanımı ile eğilme direncinde artış görülmüştür. SP kullanım oranının artmasıyla eğilme direncinde orantılı bir artış veya azalış tespit edilmemiştir. Lignoselülozik lifler ve kullanılan dolgu maddeleri polimerden daha yüksek modüle sahiptir ve daha yüksek lif konsantrasyonu aynı deformasyon için daha yüksek kuvvet gerektirir (Karmarkar vd., 2007; Kılıç vd., 2023). Şekil 8'de örneklerin eğilme direnci grafiği verilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü (EEM) üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımı önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Eğilme direncine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Odununu ve APP/PER kullanımı ile örneklerin EEM değerlerinde artış meydana gelmiştir. APP/PER katkısız ve odununu örnekler hariç SP ilave oranının artması ile EEM değerinde artış görülmüştür. Polimer matrisine eklenen dolgu maddelerinin daha yüksek modüle sahip olması nedeniyle EEM değerlerinde artış meydana gelmektedir. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Espinach vd., 2013; Mengeloğlu ve Çavuş, 2020; Başboğa, 2023). Şekil 9'da örneklerin eğilmede elastikiyet modülü grafiği verilmiştir. Poliolenin bazlı plastik kereste döşeme tahtaları için ASTM D 6662 (2001) standardı, 6,9 MPa'lık minimum eğilme mukavemeti ve 340 MPa elastikiyet modülü değeri gerektirir. Test edilen tüm numuneler ASTM D 6662'nin gerekliliklerini sağlamıştır.

İstatistik analiz sonuçlarına göre darbe direnci üzerine odununu, APP/PER ve SP kullanımı etkili bulunmuştur. Polimer matrisine odununu eklenmesi ile örneklerin darbe direnci değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Üretime APP/PER katılması darbe direncini az miktarda artırmıştır. Bunun nedeni dolgu maddesi ilavesi ile polimer matrisin sertliğinin artmasından kaynaklanmaktadır. Diğer çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Çavdar vd., 2015). SP kullanım oranının

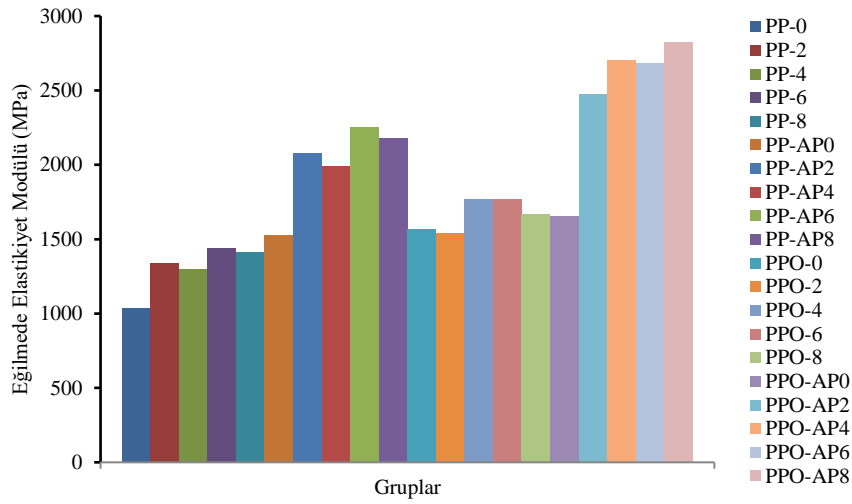
artması ile örneklerin darbe direnci değerlerinde orantısız olarak artış veya azalma görülmemiştir. Yapılan Duncan testine göre %0-2-8 ve %8-4-6 oranlarında SP kullanılan örneklerde benzerlik tespit edilmiştir. Şekil 10'da örneklerin darbe direnci grafiği verilmiştir.

Test gruplarına yapılan yatay yanma sonuçlarına bakıldığında Odununu, APP/PER ve SP kullanım oranının önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Polimer matrisine odununu ilavesi ile örneklerin yanma hızında artış tespit edilmiştir. Bunun nedeni saf polimer yanma sırasında şiddetli damlama yapmakta ve alev gücünün bir kısmını sürekli bir şekilde kaybetmektedir. Fakat odununu katkısı ile damlama azalmakta ve alev gücü saf polimere göre daha az olmaktadır. Bu da yanma süresini olumsuz etkilemektedir. Üretime APP/PER ilave edilen örneklerin tamamında alev ilerlemeyi durdurmuş ve sönmüştür. Verimli kömürleşmiş şişen tabaka, alevden polimer matrisine ısı ve oksijen transferini azaltarak kompozitler için alev geciktirici özellikleri iyileştirmiştir. Daha önceki çalışmalarda da benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Li ve Xu., 2006; Nie vd., 2013; Çavdar vd., 2019). APP/PER katkısız örneklerde SP oranının artması ile yanma hızında orantılı olarak azalma meydana gelmiştir. SP kompozit örneklerin yangın geciktirici özelliğini arttırmıştır. Şekil 11'de örneklerin yatay yanma grafiği verilmiştir.

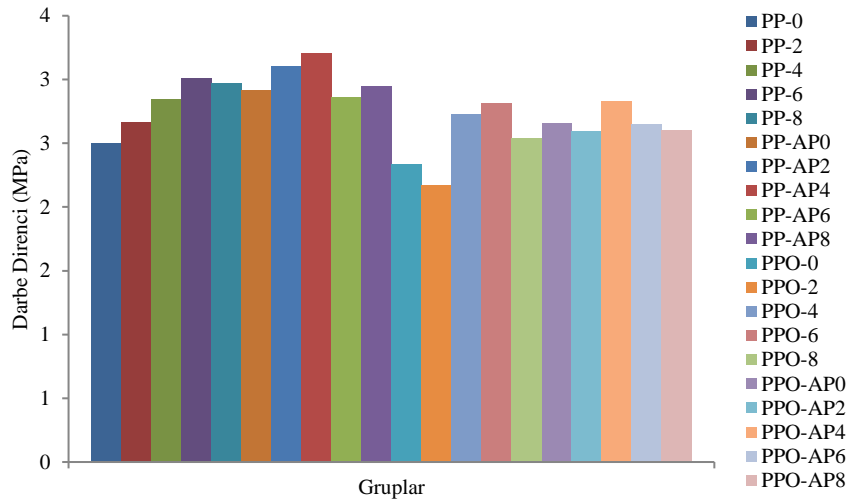
Örneklerin limit oksijen indeksi (LOI) test sonuçlarına göre odununu, APP/PER ve SP kullanım oranının örneklerin LOI değeri üzerine önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubuna kıyasla APP/PER ve odununu ilavesi ile LOI değerinde artış olduğu belirlenmiştir. Şişen yangın geciktirici olan APP, polimer matris yüzeyinde koruyucu bir bariyer oluşturabilir ve bu nedenle kömürleşmeyi artırır (Attia vd., 2014; Nie vd., 2013). APP/PER katkılı örneklerde odununu ilavesi ile LOI değerinde azalma meydana gelmektedir. Üretim gruplarında SP kullanım oranının artması ile LOI değerinde de artış olmaktadır. Şekil 12'de örneklerin LOI grafiği verilmiştir.



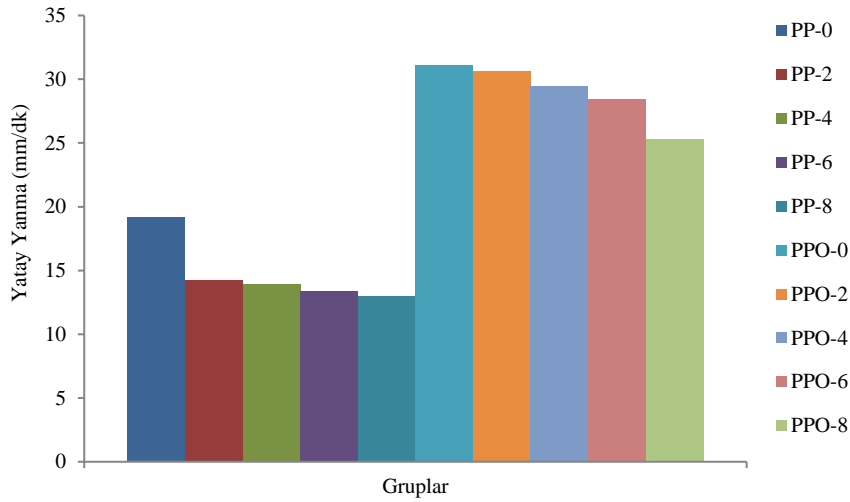
Şekil 8. Üretilen örneklerin eğilme direnci değeri bar grafiği
Figure8. Bar graph of flexural strength value of produced samples



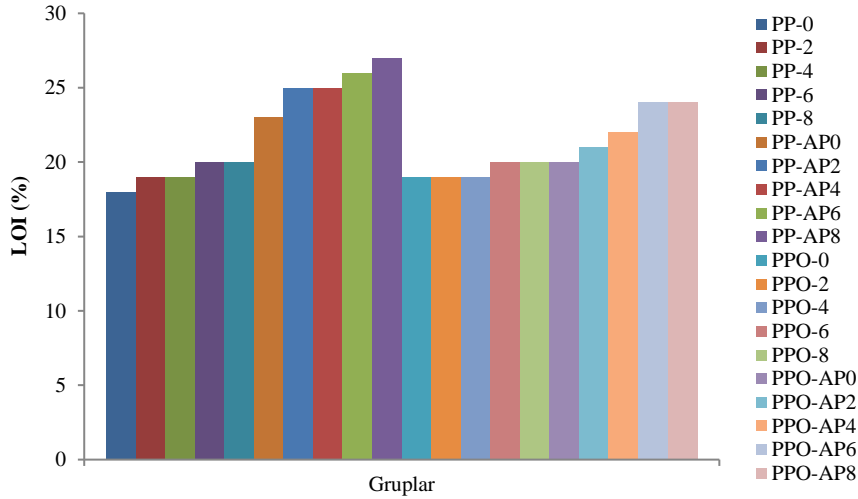
Şekil 9. Üretilen örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri bar grafiği
Figure9. Bar graph of the flexural modulus value of the produced samples



Şekil 10. Üretilen örneklerin darbe direnci değeri bar grafiği
Figure10. Impact strength value bar graph of produced samples



Şekil 11. Üretilen örneklerin yatay yanma değeri bar grafiği
Figure 11. Horizontal combustion value bar graph of produced samples



Şekil 12. Üretilen örneklerin LOI değeri bar grafiği
Figure 12. LOI value bar graph of produced samples

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında PP esaslı odun unu, APP/PER ve SP katkılı 20 farklı kombinasyonda kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen örneklerin fiziksel özellik (yoğunluk değeri), mekanik özellikleri (çekme direnci, çekme elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci) ve yanma özellikleri (yatak yanma ve limit oksijen indeksi) incelenmiştir.

Test sonuçlarına göre odun unu, APP/PER ve SP ilavesi ile çekme direncinde ve kopmada uzama değerlerinde azalma görülürken çekme elastikiyet modülü değerinde artış meydana gelmiştir. Kontrol grubuna kıyasla odun unu, APP/PER ve SP kullanımı ile eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Polimer matrisle odun unu, APP/PER ve SP katılması ile darbe direncinde artma görülmüştür. Odun unu kullanılmayan örnekler odun unu kullanılan örneklere göre

daha yüksek darbe direncine sahip olmuştur. PP esaslı örneklerde dolgu maddelerinin kullanımı ile yoğunluk değerlerinde artış görülmüştür. Örneklerin yanma özellikleri incelendiğinde APP/PER kullanımı ile alevin ilerlemediği ve söndüğü tespit edilmiştir. Odun unu kullanımı ile yanma hızında artış meydana gelirken SP kullanım oranının artmasıyla örneklerin yanma hızında azalma görülmüştür. Kontrol grubuna kıyasla odun unu, APP/PER ve SP kullanımı ile LOI değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. SP kullanım oranının artması ile LOI değerlerinde de artış meydana gelmiştir.

Açıklama

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "2023/2-19M Münferit Proje" kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Alongi, J., Poskovic, M., Frache, A., Malucelli, G., 2012. Cyclodextrin nanospheres as novel green flame retardants for PP, LLDPE and PA6. *Carbohydrate Polymers*, 88 (4): 1387–1394.
- Alongi, J., Poskovic, M., Frache, A., Trotta, F., 2010. Novel flame retardants containing cyclodextrin nanospheres and phosphorus compounds to enhance EVA combustion properties. *Polymer Degradation and Stability*, 95: 2093–2100.
- Arif, T., Bhosale, J. D., Kumar, N., Mandal, T. K., Bendre, R. S., Lavekar, G. S., Dabur, R. 2009. Natural products–antifungal agents derived from plants. *Journal of Asian Natural Products Research*, 11(7): 621–638.
- ASTM D6662, 2001. Standard Specification for Polyolefin- based Plastic Lumber Decking Boards. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D256, 2010. Standard test for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638, 2010. Standard test for tensile properties of plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790, 2010. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Atar, İ., Başboğa, İ.H., Karakuş, K., Mengeloğlu F., 2021. Effect of waste tea (*Camellia sinensis*) wood fibers and MAPE on some properties of high density polyethylene (HDPE) based polymer composites. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(2): 606-619.
- Attia, N., Hassan, M., Nour, M., Geckeler, K., 2014. Flame retardant materials: synergistic effect of halloysite nanotubes on the flammability properties of acrylonitrile– butadiene–styrene composites. *Polymer International*, 63: 1168–1173.
- Başboğa, H. İ., 2023. Polypropylene-based composites reinforced with waste tropic wood flours: Determination of accelerated weathering resistance, tribological, and thermal properties. *BioResources*, 18(4): 7251-7294. DOI: 10.15376/biores.18.4.7251-7294
- Başboğa, İ.H., Atar, İ., Karakuş, K., Mengeloğlu, F., 2020. Determination of some technological properties of injection molded pulverized-HDPE based composites reinforced with micronized waste tire powder and red pine wood wastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 28:1776–1794.
- Başboğa, H. İ., Kılıç, İ., Atar, İ., Mengeloğlu, F., 2022. The usage of wood of dahoma (*Piptadeniastrum africanum*), a tropic tree, in the production of wood plastic composite. *Turkish Journal of Forestry Research*, 9(Special Issue): 271-280. DOI: 10.17568/ogmoad.1091247
- Bledzki, A., Faruk, O., 2003. Wood fibre reinforced polypropylene composites: Effect of fibre geometry and coupling agent on physico-mechanical properties. *Applied Composite Materials*, 10: 365-379. DOI: 10.1023/A:1025741100628
- Carosio, F., Alongi, J., Malucelli, G., 2012. Layer by layer ammonium polyphosphate-based coatings for flame retardancy of polyester–cotton blends. *Carbohydrate Polymers*, 88(4): 1460–1469.
- Çavuş, V., 2020. Selected properties of mahogany wood flour filled polypropylene composites: The effect of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP). *BioResources*, 15(2): 2227-2236. DOI: 10.15376/biores.15.2.2227-2236
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2020. Effect of wood particle size on selected properties of neat and recycled wood polypropylene composites. *BioResources*, 15(2): 3427-3442. DOI: 10.15376/biores.15.2.3427-3442
- Çavdar, A. D., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F., 2011. Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: The effects of plastic type and fiber loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(10): 833-844. DOI: 10.1177/0731684411408752
- Çavdar, A. D., Mengeloğlu, F., Karakuş, K., 2015. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement*, 60:6-12.
- Çavdar, A. D., Torun, S. B., Ertas, M., Mengeloğlu, F., 2019. Ammonium zeolite and ammonium phosphate applied as fire retardants for microcrystalline cellulose filled thermoplastic composite. *Fire Safety Journal*, 107: 202-209.
- EN 323, 1993. Wood-based panels Determination of density, European Standard.
- Espinach, F. X., Julian, F., Verdaguer, N., Torres, L., Pelach, M. A., Vilaseca, F., Mutje, P., 2013. Analysis of tensile and flexural modulus in hemp strands/ polypropylene composites. *Composites Part B: Engineering*, 47: 339-343. DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.11.021
- Feng, J. X., Su, S. P., Zhu, J., 2011. An intumescent flame retardant system using β -cyclodextrin as a carbon source in polylactic acid (PLA). *Polymers for Advanced Technologies*, 22: 1115–1122.
- ISO 4589-2, 2017. Plastics - Determination of burning behaviour by oxygen index. International Standard.
- Istomina, E.I., Zubkova, N.S., Butylkina, N.G., Gordeeva, S.A., Tjuganovaa, M.A., Khalturinskaya, N.A., 1996. Lowering of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) combustibility. *Fire Safety Journal*, 26:185.
- Jiang, H. P., Sun, L. F., 2003. Progress on the research fields on the extraction and application of tea saponin. *Jiangxi Chemical Industry*, 4: 52–57.
- Karmarkar, A., Chauhan, S. S., Modak, J. M., Chanda, M., 2007. Mechanical properties of wood–fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(2): 227-233. DOI: 10.1016/j.compositesa.2006.05.005
- Kılıç, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., Mengeloğlu, F., 2023. Using furniture factory waste sawdust in wood plastic composite production and prototype sample production. *BioResources*, 18(4): 7212-7229. DOI: 10.15376/biores.18.4.7212-7229
- Kılıç, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., Mengeloğlu, F., 2024. Utilization of flours from hemp stalks as reinforcement in polypropylene matrix. *Bioresources*, 19(1): 1494-1516. DOI: 10.15376/biores.19.1.1494-1516
- Le Bras, M., Bourbigot, S., Le Tallec, Y., Laureyns, J., 1997. Synergy in intumescence-application to β -cyclodextrin carbonisation agent in intumescent additives for fire retardant polyethylene formulations. *Polymer Degradation and Stability*, 56: 11–21.
- Li, B., Xu, M.J., 2006. Effect of a novel charring-foaming agent on flame retardancy and thermal degradation of intumescent flame retardant polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 91: 1380–1386.
- Maddah, H.A., 2016. Polypropylene as a promising plastic: a review. *American Journal of Polymer Science*, 6(1): 1-11. DOI: 10.5923/j.ajps.20160601.01
- Maziero, R., Soares, K., Filho, A. I., Franco, A. R., Rubio, J. C. C., 2019. Maleated polypropylene as coupling agent for polypropylene composites reinforced with eucalyptus and pinus particles. *BioResources*, 14(2): 4774-4791. DOI: 10.15376/biores.14.2.4774-4791
- Mengeloğlu, F., Karakuş, K., 2008. Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer-composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32:537–546. <https://doi.org/10.3906/tar-0801-7>
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V., 2020. Preparation of thermoplastic polyurethane-based biocomposites through injection molding: Effect of the filler type and content. *BioResources*, 15(3): 5749-5763. DOI: 10.15376/biores.15.2.2227-2236

- Nie, S., Liu, X., Wu, K., Dai, G., Hu, Y., 2013. Intumescent flame retardation of polypropylene/ bamboo fiber semi-biocomposites: flame retardancy and thermal degradation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 111: 425–430.
- Qian, W., Li, X.Z., Wu, Z.P., Liu, Y.X., Fang, C.C., Meng, W., 2015. Formulation of intumescent flame retardant coatings containing natural-based tea saponin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 2782-2788.
- Qian, W., Li, Zhou, J., Liu, Y., Wu, Z., 2019. High synergistic effects of natural-based tea saponin in intumescent flameretardant coatings for enhancement of flame retardancy and pyrolysis performance. *Progress in Organic Coatings*, 127: 408-418.
- Reti, C., Casetta, M., Duquesne, S., Bourbigot, S., Delobel, R., 2008. Flammability properties of intumescent PLA including starch and lignin. *Polymers for Advanced Technologies*, 19: 628–635.
- Ruter, J.M., 2002. Nursery Production of Tea Oil Camellia Under Different Light Levels. *Trends in New Crop and New Uses*, 222-224.
- Stark, N., Berger, M. J., 1997. Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites. *Symposium of Functional Fillers for Thermoplastics and Thermosets*, 8-10 December, San Diego, California, USA, pp. 1-20.
- UL 94, 2021. Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. American National Standard.
- Vandersall, H.L., 1971. Intumescent coating system, their development and chemistry. *Journal of Fire and Flammability*, 2: 97-140.
- Weil, E.D., Levchik, S.V., 2008. Flame retardants in commercial use or development for polyolefins. *Journal of Fire Sciences*, 26: 5-43.
- Wen, P.Y., Wang, X.F., Xing, W.Y., Feng, X.M., Yu, B., Shi, Y.Q., Tang, G., Song, L., Hu, Y. R., Yuen, K.K., 2013. Synthesis of a novel triazine-based hyperbranched char foaming agent and the study of its enhancement on flame retardancy and thermal stability of polypropylene. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52: 17015-17022.
- Yang, H.-S., Kim, H.-J., Son, J., Park, H. J., Lee, B. J., Hwang, T. S., 2004. Rice- husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. *Composite Structures*, 63: 305-312. DOI: 10.1016/S0263-8223(03)00179-X
- Yang, H. S., Kim, H. J., Park, H. J., Lee, B. J., Hwang, T. S., 2007. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Composite Structures*, 77: 45-55. DOI: 10.1016/j.compstruct.2005.06.005
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., Bateman, S., 2008. Wood fiber reinforced polyethylene and polypropylene composites with high modulus and impact strength. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21(3): 195-208. DOI: 10.1177/0892705708089472
- Zaini, M. J., Fuad, M. Y. A., Ismail, Z., Mansor, M. S., Mustafah, J., 1996. The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites. *Polymer International*, 40: 51-55. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0126(199605)

Sarı kantaron (*Hypericum perforatum* L.) uçucu bileşenlerinin yükseltiye bağlı değişimi

Ayşegül Tekeş^{a,*}, Sermin Göksu Karagöz^b, Oktay Demir^c, Şükran Oğuzoğlu^a, Nazlı Ögüt^a, Münevver Arslan^d, Serkan Gülsoy^a

Öz: Bu çalışmada Afyonkarahisar ili Sultandağı Yöresinde üç farklı yükselti grubu ve 7 örnek alandan *Hypericum perforatum* L.'nin çiçek ve yapraklarının uçucu yağ bileşenleri analiz edilmiştir. Analizler HS-SPME (Tepe Boşluğu – Katı Faz Mikro Ekstraksiyon) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, çiçeklerde 113, yapraklarda ise 122 bileşen tespit edilmiştir. Çiçeklerden elde edilen bileşenlerin 72'si tüm yükselti gruplarında ortak bulunurken, 18'i tek bir yükselti grubundadır. Çiçeklerdeki bileşen sayıları alt yükselti grubunda 100, orta yükselti grubunda 93, üst yükselti grubunda ise 87 adettir. Yapraklarda ise 122 bileşen belirlenmiştir. Bunlardan 73'ü tüm yükselti gruplarında ortak iken, 18'i tek bir yükselti grubundadır. Yapraklardaki bileşenlerin 106'sı alt, 90'ı orta, 103'ü ise üst yükselti grubunda saptanmıştır. Çiçeklerde yükselti arttıkça bileşen sayısında azalma görülmüştür. Yapraklarda ise yükseltiye bağlı doğrusal bir artış söz konusu olmamıştır. En yüksek orana sahip ana bileşenler; çiçeklerde α -pinene, 5-methyl-undecane ve *trans*-caryophyllene, yapraklarda ise 2-methyl-octane, carvacrol ve acetic acid bileşenleri olmuştur. Yükselti gruplarına göre çiçek ve yaprakların uçucu yağlarının ana bileşenlerin de benzerlik görülürken, değişim genel olarak diğer bileşenlerdedir. Bitki uçucu yağ bileşenlerinin kompozisyonu ve oranlarındaki bu değişkenliğin, yükseltiye bağlı değişen iklim koşulları ve bunların bileşkesinde şekillenen bitki fenolojik durumuna önemli ölçüde bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Afyonkarahisar-Türkiye, HS-SPME, Sarı kantaron, Uçucu bileşen, Yaprak ve çiçek, Yükselti

Elevation variations in volatile components of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.)

Abstract: In this study, essential oil components of the flowers and leaves of *Hypericum perforatum* L., from three different elevation groups and 7 sample areas in Sultandağı region of Afyonkarahisar province, were analyzed. Analyzes were carried out using the HS-SPME (Head Space – Solid Phase Micro Extraction) method. As a result, 113 components from flowers and 122 components from leaves were identified. While 72 of the components from flowers are common to all elevation groups, 18 are in a single elevation group. The number of components in flowers is 100 in the lower, 93 in the middle, and 87 in the upper elevation group. 122 components were determined in the leaves. While 73 of these are common to all elevation groups, 18 are in a single. 106 of these components in the leaves were detected in the lower elevation group, 90 in the middle and 103 in the upper. As the altitude increased, the number of components in the flowers decreased. In the leaves, there was no linear increase with altitude. The main components with the highest ratio are α -pinene, 5-methyl-undecane and *trans*-caryophyllene in the flowers, and 2-methyl-octane, carvacrol and acetic acid in the leaves. While it is seen the main components of the essential oils of flowers and leaves are similar in the altitude groups, the alteration is generally in other chemical components. It was concluded this variability in the composition and ratios is significantly dependent on elevation-dependent climatic conditions and the phenological state of the plant shaped by their combination.

Keywords: Afyonkarahisar-Türkiye, HS-SPME, St. John's Wort, Volatile components, Leaf and flower, Elevation

1. Giriş

Hypericum cinsi, Hypericaceae familyasının en yaygın ve bilinen cinslerinden biridir. Dünya genelinde yaklaşık 400 türe sahip olan bu bitki (Saddiçe vd., 2010) genellikle aşırı sıcak ve soğuk hava ile aşırı nemli ve kuru ortamları tercih etmemektedir. Ancak küresel olarak (Dauncey vd., 2019) Batı Asya, Avrupa, Kuzey Afrika, Avustralya ve Kuzey

Amerika başta olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde yayılış göstermektedir (Saddiçe vd., 2010). Ülkemizde ise Karadeniz, Marmara, Ege, Akdeniz, Orta ve Doğu Anadolu ile Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak dağılım göstermektedir (Güner vd., 2012). Cinsine ait Türkiye'de bulunan toplam 96 türün 47'si endemiktir (Güner vd., 2012). Bu türler içerisinde en yaygın ve tanınmış olanı ise *H. perforatum* L.'dir (Erken vd., 2001). Bitki çok yıllık, tüysüz

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta
^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Isparta
^c Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
^d Eskişehir Orman Toprak ve Ekoloji Araştırmaları Enstitüsü Müdürlüğü, Eskişehir

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): tekesaysegull@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 27.05.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 09.09.2024



Citation (Atf): Tekeş, A., Göksu Karagöz, S., Demir, O., Oğuzoğlu, Ş., Ögüt, N., Arslan, M., Gülsoy, S., 2024. Sarı kantaron (*Hypericum perforatum* L.) uçucu bileşenlerinin yükseltiye bağlı değişimi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 494-505.

DOI: [10.18182/tjf.1487768](https://doi.org/10.18182/tjf.1487768)

olup, boyu 10-110 cm arasında değişmektedir. Taç yaprakları sarı renkte, kenarları siyah noktalı, bazen de yüzeyi siyah çizgildir. Yapraklar 5-35 mm, yumurtamsı, eliptik- oblong veya şeritimsi bazen de ters yumurtamsı şekilde, saydam noktalı olup yapraklar gövdeye doğrudan bağlanır veya çok kısa saplıdır (Davis, 1967). İngilizce'de "St. John's Wort" olarak bilinen (Saddiçe vd., 2010) bu bitki, ülkemizde halk arasında farklı isimlerle anılmaktadır. Bunlar arasında yara otu, mayasıl otu, binbirdelik otu, kan otu, kılıç otu, püren, koyun kıran ve kuzu kıran yer alırken, en bilinen adı sarı kantarondur (Baytop, 1984).

Bitkinin bilinen etnobotanik özelliklerinin tarihi çok eskilere dayanmaktadır. M.Ö. 5. yüzyıldan itibaren başta yanık yaraların tedavisi olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde kullanılmıştır (Saddiçe vd., 2010). Egzama, mide-bağırsak hastalıkları, ülser, karaciğer-safra hastalıkları, romatizma, soğuk algınlığı, astım, migren, diyabet, şeker hastalığı, baş ağrısı ve bazı cilt hastalıkları gibi çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde etkili olduğu belirtilmiştir (Ghasemi Pirbalouti vd., 2014; Seyis vd., 2020; Nobakht vd., 2022). Son yıllarda ekstraktlarının özellikle hafif ve orta dereceli depresyon tedavisinde kullanımı daha fazla önem kazanmıştır (Hışıl vd., 2005; Silva vd., 2005; Akhbari ve Batooli, 2009; Morshedloo vd., 2015). Bitkinin sağlık alanındaki çeşitli kullanımlarının yanı sıra morfolojisi, kemotipi ve uçucu yağ bileşimindeki çeşitliliği araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Morshedloo vd., 2015). *H. perforatum* içerikli birçok ürün, bitkisel takviyeler arasında popüler bir yer edinmiştir. 2016 yılında ABD'de yapılan bir araştırmada, en çok satan bitkisel takviyeler listesinde 37. sırada yer almıştır (Barnes vd., 2019).

Hypericum türlerinin ana bileşenleri arasında hiperisin, tanenler, flavonoidler, fenolik asitler, quercitrin, hyperoside, isoquercitrin, klorojenik asit ve rutin bulunmaktadır (Ghasemi Pirbalouti vd., 2014). Bu doğal aktif bileşikler, bitkinin ekonomik önemini arttıran kaynaklar arasında yer almaktadır (Morshedloo vd., 2015). Bitkinin morfolojik yapısı incelendiğinde, çeşitli salgı yapılarının varlığı ile temsil edildiği gözlemlenmektedir. Bu yapılar, salgı kanalları, yarı saydam bezler ve siyah nodülleri içermektedir. Uçucu yağlar, bu salgı yapılarında sentezlenir ve özellikle yarı saydam bezlerde, yapraklarda (çanak - taç yapraklar) ve

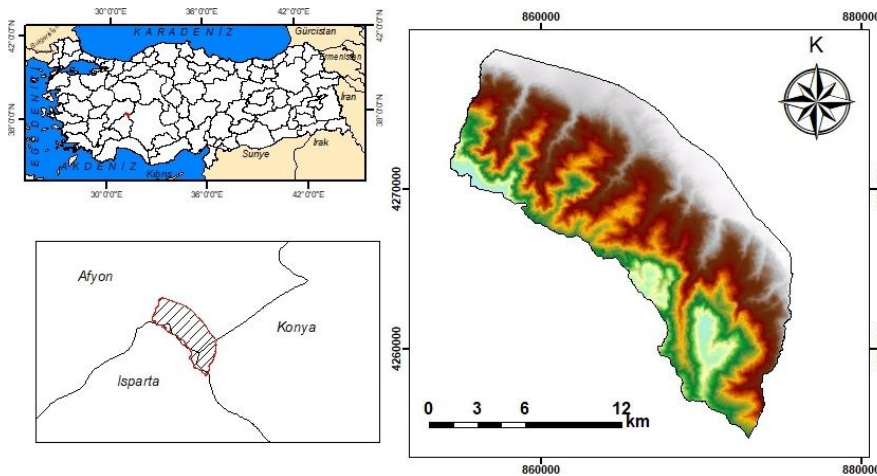
dişi organında bulunan salgı kanallarında bulunmaktadır (Morshedloo vd., 2015). Bitkinin çiçeklenme dönemi Türkiye'de genellikle mayıs ayından ağustos-eylül aylarına kadar devam etmektedir. *H. perforatum*'un mezofitik (orta nemli) bölgelerde kuru habitatlarda, diğer yerlerde su kenarlarında, orman açıklıklarında, meralarda, akarsu ve nehir kenarlarında, ayrıca yol kenarlarında yetiştiği görülmektedir. Bitkinin genellikle güneşli yamaçları tercih ettiği bilinmektedir (Davis, 1967; Jacobs, 2007).

Bu türün uçucu yağ bileşenleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Erken vd., 2001; Gudzic vd., 2001; Schwob vd., 2002; Pavlovic vd., 2006; Akhbari ve Batooli, 2009; Sharopov vd., 2010; Alan vd., 2010; Ghasemi Pirbalouti vd., 2014; Hajdari vd., 2014; Morshedloo vd., 2015; Moleriu vd., 2017; Yılmazoğlu vd., 2023; Doğan vd., 2024; Güler ve Özdemir, 2024). Ancak farklı yükseltilerden alınan örneklerin uçucu yağ bileşenlerinde değişime neden olup olmadığına yönelik çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır (Xenophontos vd., 2008; Seyis vd., 2020). Türkiye'de ise bu türe özgü böyle bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buradan hareketle, bu çalışmada türün çiçek ve yapraklarında bulunan uçucu yağ bileşenlerinin yükseltiye bağlı olarak değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece önemli bir ekolojik faktör olan yükseltinin, türün uçucu yağ bileşenlerinin değerlendirme sürecinde etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışmada örnekler Afyonkarahisar'ın genelinde yer alan, bir kısmı Konya il sınırlarına kadar uzanan Sultandağı Yöresinden toplanmıştır (Şekil 1). İlçenin kuzeyinde ve Eber-Akşehir Ovasında karakteristik bitki örtüsü, step karakterli ot formasyonlarıdır. Sultandağlarında orman alanları, Sultandağları ile göller arasında ise yoğun zirai alanları mevcuttur. İlçenin yaklaşık %18'i orman, %21'i çayır ve mera, %50'si tarım arazisi, %11'i ürün getirmeyen alanlarla kaplıdır. Orman alanlarının büyük çoğunluğunu karaçam, sedir ve meşe ormanları oluşturmaktadır (Sönmez, 2006).



Şekil 1. Çalışma alanının lokasyon haritası
Figure 1. Location map of the study are

2.2. Bitki materyali

H. perforatum örnekleri 2022 yılının Haziran ve Temmuz aylarında, bitkinin çiçeklenme döneminde üç farklı yükselti (1000-1400 m, 1400-1800 m ve 1800-2000 m) grubundan, 7 farklı noktada toprak üstü kısımlarından örnek alınmıştır (Çizelge 1).

Bitki örneklerinin teşhisi sistematik kurallara uygun olarak Dr. Münevver ARSLAN tarafından Davis (1967)'e göre yapılmıştır. Ardından ISUBÜ Orman Fakültesi Ekosistem Laboratuvarına getirilen bitki örneklerinin çiçek ve yaprak kısımları ayıklanarak ayrı ayrı kurutulmuştur (Şekil 2). Kurutma işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Uçucu bileşenlerin analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi- Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir.

2.3. Yöntem

H. perforatum uçucu bileşenlerinin belirlenmesinde HS-SPME (Tepe Boşluğu – Katı Faz Mikro Ekstraksiyon) tekniği kullanılmıştır (Vichi vd., 2003; Risticovic vd., 2010). Analizler için Shimadzu (Japan) GC-MS (Gaz Kromatografisi Kütle Spektroskopisi) cihazı kullanılmıştır. 15 mL'lik SPME viallerine tartılan 1 g *H. perforatum* silikon septa ile kapatılmış ve ısıtıcıya yerleştirilip 60 °C'de 15 dakika tutularak örneğin dengeye gelmesi sağlanmıştır. 75 µm inceliğinde CAR/PDMS (Karboksen/PolidimetilSiloksan) fiber şişeye daldırıldıktan sonra ise 30 dakika beklenerek, tepe boşluğundaki uçucu aroma bileşenlerinin fibere absorbe edilmesi sağlanmıştır. Daha sonra fiber gaz kromatografi cihazının enjeksiyon bloğunda 5 dakika bekletilerek, adsorbe edilen uçucu aroma bileşenleri desorbsiyonla kapiler kolona (Restek Rx-5 Sil MS 30 m x 0,25 mm, 0,25 µm) enjekte edilmiştir. Fırın sıcaklığı 40 °C'de 2 dakika bekledikten sonra dakikada 4 °C'lik artışla 250 °C'ye ulaşarak bu sıcaklıkta 5 dakika kalacak şekilde programlanmıştır. Enjektör ve dedektör (GCMS-QP2010 SE) sıcaklıkları 250 °C olarak ayarlanmıştır. İyonlaştırma türü olarak EI (70 eV) ve taşıyıcı gaz olarak Helyum (1,61 mL/dakika) kullanılmıştır. Uçucu yağ bileşenlerinin tanımlanmasında Wiley, Nist, Tutor, FFNSC kütüphanesinden yararlanılarak, sonuçlar örnek alan (%) olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular

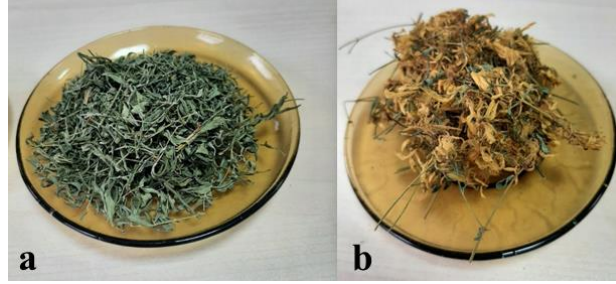
H. perforatum çiçeklerinin uçucu bileşen analizi sonucunda, elde edilen bileşenlerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve yükselti gruplarına göre dağılımı Çizelge 2'de sunulmuştur. Yükselti gruplarında toplam 113 bileşen (alkoller, alkanlar, esterler, ketonlar, monoterenler, seskiterpenler ve diğerleri olarak gruplandırılmıştır) tespit edilmiş olup, bunlardan 72'si tüm yükselti gruplarında ortak bulunurken, 18'si tek yükselti grubunda bulunmaktadır. Çiçeklerden elde edilen uçucu bileşenlerin 100'ü alt, 93'ü orta, 87'i ise üst yükselti grubunda belirlenmiştir. Farklı yükselti grubuna ait toplam 7 örnek alanın ortalama değerlerine göre en yüksek oranlara sahip 3 ana uçucu bileşen sırasıyla 5-methyl-undecane (18,10±9,26), *trans*-caryophyllene (11,00±5,07) ve α-pinene (9,02±5,16) olmuştur (Çizelge 2). Ortalama değerler incelendiğinde en yüksek orana sahip 5-methyl-undecane bileşeninin özellikle üst yükselti grubundaki örnek alanlarda, oranlarının daha yüksek olduğu (%29,54) gözlemlenmiştir. Alt ve üst yükselti grubunun kendi içindeki örnek alanların ortalama değerlerine göre ilk üç ana bileşenini, 5-methyl-undecane, α-pinene ve *trans*-caryophyllene bileşenleri oluşturmuştur. Alt yükselti grubunda sırasıyla %11,34, %10,55 ve %9,00 değerleri, üst yükselti grubunda ise yine sırasıyla %29,54, %10,67 ve %10,09 değerleri bulunmuştur. Orta yükselti grubunun örnek alanlarında ise ortalama değerlere göre yine 5-methyl-undecane (%16,80) en yüksek ana uçucu bileşen olurken onu sırasıyla *trans*-caryophyllene (%14,90) ve 2-methyl-decane (%6,69) bileşenleri takip etmiştir. Bileşen yüzdeleri incelendiğinde 5-methyl-undecane ve α-pinene bileşenleri için en yüksek değer üst yükselti grubunda, *trans*-caryophyllene bileşeni için ise en yüksek değer orta yükselti grubunda saptanmıştır.

Şekil 3'te türün çiçeklerinde tespit edilen ilk 3 ana bileşen ve onları takip eden bazı diğer uçucu bileşenlerin yükselti gruplarına göre ortalama değerleri verilmiştir. Görüleceği üzere başta birincil ana bileşen olan 5-methyl-undecane olmak üzere, tüm uçucu bileşenlerde yükselti gruplarına göre ortalama değerlerde, değişen oranlarda varyasyon tespit edilmiştir.

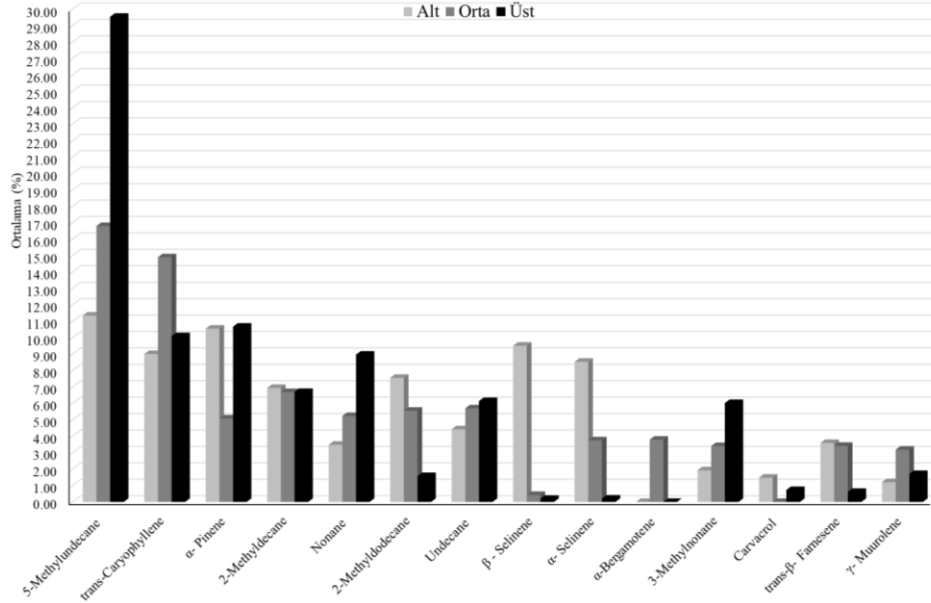
Çizelge 1. *Hypericum perforatum*'un toplandığı alanların koordinat ve yükselti bilgileri

Table 1. Coordinate and elevation information of the areas where *Hypericum perforatum* was collected

Örnek alan no	Yükselti (m)	Enlem (X)	Boylam (Y)	Yükselti grubu
1	1259	350399	4255767	Alt
2	1291	337723	4266265	Alt
3	1351	345160	4262192	Alt
4	1602	342634	4260142	Orta
5	1673	341385	4260153	Orta
6	1759	336614	4267120	Üst
7	1873	339682	4263384	Üst



Şekil 2. *Hypericum perforatum*'un kurutulup analize gönderilmiş yaprak ve çiçek örnekleri
Figure 2. Dried leaf and flower samples of *Hypericum perforatum* sent for analysis



Şekil 3. *Hypericum perforatum* çiçeklerinin uçucu bileşenleri içeriğindeki temel bileşenlerin yükselti gruplarına göre dağılımı
Figure 3. Distribution of the main components in the volatile composition of *Hypericum perforatum* flowers across elevation groups

Çizelge 2. *Hypericum perforatum* çiçeklerinin uçucu yağ analiz bulguları
Table 2. Essential oil analysis findings of *Hypericum perforatum* flowers

Sayı	Rt	Bileşenler	Alt			Ortalama /Standart sapma	Orta		Üst			Genel ortalama /Standart sapma	
			ÖA1 (%)	ÖA2 (%)	ÖA3 (%)		ÖA4 (%)	ÖA5 (%)	Ortalama	ÖA6 (%)	ÖA7 (%)		Ortalama
1	6,525	5-Methyl-undecane	18,46	6,98	8,59	11,34±6,22	12,67	20,92	16,80	28,86	30,21	29,54	18,10±9,26
2	26,892	trans-Caryophyllene	5,06	16,92	5,03	9,00±6,86	12,06	17,73	14,90	10,64	9,54	10,09	11,00±5,07
3	8,761	α- Pinene	11,96	2,36	17,33	10,55±7,58	5,76	4,40	5,08	10,23	11,11	10,67	9,02±5,16
4	13,886	2-Methyl-decane	8,19	7,96	4,66	6,94±1,98	8,67	4,70	6,69	6,69	6,70	6,70	6,79±1,62
5	7,654	Nonane	4,01	1,98	4,45	3,48±1,32	3,41	7,05	5,23	9,12	8,81	8,97	5,55±2,79
6	21,437	2-Methyl-dodecane	8,45	8,10	6,11	7,55±1,26	9,26	1,84	5,55	1,81	1,34	1,58	5,27±3,51
7	15,291	Undecane	4,31	4,50	4,45	4,42±0,10	5,85	5,54	5,70	6,23	6,05	6,14	5,27±0,83
8	29,085	β-Selinene	7,66	10,39	10,48	9,51±1,60	-	0,85	0,85	0,19	0,19	0,19	4,96±5,09
9	29,320	α-Selinene	6,80	9,25	9,55	8,53±1,51	6,54	0,96	3,75	0,21	0,19	0,20	4,79±4,21
10	29,160	α-Bergamotene	-	-	-	-	7,23	0,35	3,79	-	-	-	3,79±4,86
11	10,244	3-Methyl-nonane	3,62	0,99	1,17	1,93±1,47	2,37	4,43	3,40	6,39	5,65	6,02	3,52±2,12
12	22,743	Carvacrol	-	4,43	-	4,43±-	-	-	-	-	1,45	1,45	2,94±2,11
13	27,918	trans-β-Farnesene	2,51	8,01	0,24	3,59±4,00	4,76	2,07	3,42	0,63	0,59	0,61	2,69±2,82
14	28,649	γ- Muurolene	0,43	2,54	0,64	1,20±1,16	2,64	3,72	3,18	1,69	1,71	1,70	1,91±1,16
15	13,153	trans-β-Ocimene	1,54	0,57	0,89	1,00±0,49	1,86	3,12	2,49	2,77	1,76	2,27	1,79±0,92
16	22,743	Tridecane	1,27	-	1,62	1,45±0,25	2,20	1,88	2,04	1,60	-	1,60	1,71±0,35
17	10,920	β-Myrcene	2,16	0,46	2,33	1,65±1,03	1,15	0,74	0,95	1,79	2,55	2,17	1,60±0,82
18	30,033	δ- Cadinene	0,94	1,38	1,36	1,23±0,25	1,10	1,98	1,54	0,79	0,78	0,79	1,19±0,43
19	25,334	α-Copaene	0,85	0,91	1,00	0,92±0,08	1,14	1,94	1,54	1,12	1,25	1,19	1,17±0,37
20	28,769	γ- Muurolene	2,14	-	3,02	2,58±0,62	-	0,23	0,23	0,10	0,07	0,09	1,11±1,38
21	27,984	α- Humulene	-	-	2,49	2,49±-	-	0,63	0,63	0,32	0,35	0,34	0,95±1,04
22	29,858	γ- Cadinene	0,54	0,65	0,80	0,66±0,13	0,69	1,37	1,03	0,57	0,61	0,59	0,75±0,29
23	25,111	α- Ylangene	0,42	0,45	0,43	0,43±0,02	0,58	0,91	0,75	0,50	0,52	0,51	0,54±0,17
24	28,828	Germacrene D	-	0,80	0,53	0,67±0,19	0,55	0,28	0,42	-	-	-	0,54±0,21
25	27,436	Aromadendrene	0,28	0,32	0,57	0,39±0,16	0,55	1,12	0,84	0,48	0,31	0,40	0,52±0,29
26	1,848	Acetic acid	0,41	1,02	0,45	0,63±0,34	0,49	0,48	0,49	0,33	0,42	0,38	0,51±0,23

Sayı	Rt	Bileşenler	Alt			Orta			Üst			Genel ortalama /Standart sapma	
			ÖA1 (%)	ÖA2 (%)	ÖA3 (%)	Ortalama /Standart sapma	ÖA4 (%)	ÖA5 (%)	Ortalama	ÖA6 (%)	ÖA7 (%)		Ortalama
27	10,385	β-pinene	0,53	0,19	0,94	0,55±0,38	0,24	0,68	0,46	0,50	0,47	0,49	0,51±0,25
28	12,410	Limonene	0,42	0,16	1,27	0,62±0,58	0,22	0,28	0,25	0,38	0,47	0,43	0,46±0,38
29	29,191	α-Amorphene	0,35	0,43	0,42	0,40±0,04	0,45	0,75	0,60	0,39	0,35	0,37	0,45±0,14
30	27,805	α-Himachalene	0,41	0,52	-	0,47±0,08	0,27	-	0,27	-	-	-	0,40±0,13
31	12,226	p-Cymene	0,19	0,27	1,47	0,64±0,72	0,14	0,19	0,17	0,18	0,29	0,24	0,39±0,48
32	11,350	Decane	0,62	0,11	0,21	0,31±0,27	0,33	0,30	0,32	0,49	0,51	0,50	0,37±0,18
33	1,433	2-Propanone & Acetone	0,34	0,40	0,49	0,41±0,08	0,27	0,23	0,25	0,41	0,37	0,39	0,36±0,09
34	26,659	β-Cedrene	0,61	0,53	0,30	0,48±0,16	0,45	0,32	0,39	0,06	0,11	0,09	0,34±0,21
35	38,353	Ethylhexyl chloroformate	0,10	-	-	0,10±-	0,55	0,28	0,42	-	-	-	0,31±0,23
36	30,118	Calamenene	-	-	0,28	0,28±-	0,26	0,42	0,34	0,28	0,28	0,28	0,30±0,07
37	28,535	Cadina-1(6),4-diene <10betaH>	-	0,49	-	0,49±-	0,36	0,40	0,38	0,12	0,09	0,11	0,29±0,18
38	13,558	γ-Terpinene	0,10	0,11	1,34	0,52±0,71	0,09	0,13	0,11	0,14	0,12	0,13	0,29±0,46
39	27,679	β-Patchoulene	-	-	-	-	-	0,27	0,27	-	-	-	0,27±0,00
40	22,460	Thymol	0,09	0,50	0,10	0,23±0,23	0,27	0,49	0,38	0,21	0,19	0,20	0,26±0,17
41	28,753	Longifolene-(V4)	0,26	0,30	-	0,28±0,03	0,19	-	0,19	-	-	-	0,25±0,06
42	10,753	6-Methyl-5-hepten-2-one	0,21	0,50	0,14	0,28±0,19	0,32	0,19	0,26	0,13	0,20	0,17	0,24±0,13
43	4,604	Hexanal	0,18	0,27	0,10	0,18±0,09	0,18	0,14	0,16	0,30	0,51	0,41	0,24±0,14
44	12,734	cis-Ocimene	0,18	0,12	0,10	0,13±0,04	0,20	0,44	0,32	0,38	0,18	0,28	0,23±0,13
45	32,000	Caryophyllene oxide	0,10	0,40	0,16	0,22±0,16	0,21	0,25	0,23	0,18	0,20	0,19	0,21±0,10
46	27,148	β-Cubebene	0,13	0,22	0,22	0,19±0,05	0,24	0,32	0,28	0,15	0,15	0,15	0,21±0,06
47	25,598	β-Bourbonene	0,14	0,09	0,22	0,15±0,07	0,24	0,30	0,27	0,19	-	0,19	0,20±0,08
48	27,084	10,10-Dimethyl-2,6-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecane	0,13	0,30	0,14	0,19±0,10	0,26	0,26	0,26	0,13	0,13	0,13	0,19±0,08
49	29,399	β-Himachalene	0,11	0,15	0,18	0,15±0,04	0,09	0,44	0,27	0,15	0,16	0,16	0,18±0,12
50	30,160	β-Cadinene	0,20	-	-	0,20±-	-	0,15	0,15	-	-	-	0,17±0,04
51	27,796	Humulen-(v1) \$ 4,11,11-Trimethyl-8-methylenebicyclo[7.2.0]undec-3-ene	-	-	-	-	-	0,27	0,27	0,08	0,09	0,09	0,15±0,10
52	30,591	α-Murolene	0,12	0,12	0,16	0,13±0,02	0,14	0,26	0,20	0,11	0,10	0,11	0,15±0,06
53	25,535	α-Cedrene	0,10	0,03	-	0,07±0,05	0,04	-	0,04	-	0,40	0,40	0,14±0,17
54	33,610	Murolol < alpha -epi->	-	-	-	-	0,04	0,28	0,16	0,09	-	0,09	0,14±0,13
55	28,128	Alloaromadendrene	0,09	0,12	0,21	0,14±0,06	0,13	0,23	0,18	0,07	0,07	0,07	0,13±0,06
56	24,427	α-Longipinene	0,17	0,13	0,08	0,13±0,05	0,09	0,24	0,17	0,04	0,14	0,09	0,13±0,06
57	24,336	α-Cubebene	0,10	0,19	0,21	0,17±0,06	0,16	0,11	0,14	0,06	0,05	0,06	0,13±0,06
58	26,953	Cedr-8(15)-ene	0,23	0,20	0,10	0,18±0,07	0,16	0,10	0,13	0,02	0,03	0,03	0,12±0,08
59	11,930	α-Terpinene	0,05	0,07	0,49	0,20±0,25	0,04	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,12±0,16
60	30,724	α-Calacorene	0,09	0,11	0,12	0,11±0,02	0,11	0,19	0,15	0,07	0,07	0,07	0,11±0,04
61	27,665	δ-Guaiene	0,05	0,11	0,13	0,10±0,04	0,08	-	0,08	-	0,14	0,14	0,10±0,04
62	29,575	α-Farnesene	0,06	0,10	0,07	0,08±0,02	0,11	0,16	0,14	-	-	-	0,10±0,04
63	28,348	Cedr-8-ene	0,19	0,05	0,10	0,11±0,07	0,09	0,06	0,08	-	-	-	0,10±0,05
64	25,783	n-Octyl isobutyrate	-	-	-	-	-	0,09	0,09	0,12	0,08	0,10	0,10±0,02
65	16,363	p-Mentha-1,5,8-triene	0,05	-	0,03	0,04±0,01	0,08	0,17	0,13	0,14	0,07	0,11	0,09±0,05
66	16,767	Nealloocimene	0,05	-	0,03	0,04±0,01	0,07	0,15	0,11	0,14	0,07	0,11	0,09±0,05
67	6,104	(E)-2-Hexenal	0,06	0,16	0,05	0,09±0,06	0,07	0,10	0,09	0,04	0,13	0,09	0,09±0,05
68	17,946	3-Methylundecane	0,10	0,07	0,05	0,07±0,03	0,13	0,09	0,11	0,07	0,10	0,09	0,09±0,02
69	14,796	Dimethylstyrene < alpha-para->	-	-	0,09	0,09±-	-	-	-	-	-	-	0,09±0,00
70	26,318	cis-Caryophyllene	0,07	0,12	0,08	0,09±0,03	0,11	0,09	0,10	0,06	-	0,06	0,09±0,02
71	30,460	Cadina-1,4-diene	0,06	0,05	0,11	0,07±0,03	0,08	0,18	0,13	0,06	0,04	0,05	0,08±0,05
72	15,420	Nonanal	0,05	0,12	0,03	0,07±0,05	0,09	0,06	0,08	0,09	0,11	0,10	0,08±0,03
73	2,204	2-Butenal	0,04	-	0,04	0,04±0,00	0,05	-	0,05	0,05	0,20	0,13	0,07±0,07
74	19,083	Dodecane	0,13	0,06	0,07	0,09±0,04	0,11	0,04	0,08	0,05	0,06	0,06	0,07±0,03
75	14,622	α-Terpinolen	0,03	-	0,27	0,15±0,17	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07±0,10
76	9,820	Benzaldehyde	0,08	0,11	0,06	0,08±0,03	0,05	-	0,05	0,06	-	0,06	0,07±0,02
77	25,794	β-Elementene	0,05	0,04	0,14	0,08±0,06	0,05	-	0,05	-	-	-	0,07±0,04
78	1,502	Dimethyl sulfide	0,05	0,15	-	0,10±0,07	0,04	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	0,07±0,04
79	2,693	Pentanal	0,04	0,18	0,04	0,09±0,08	0,04	0,04	0,04	0,05	0,10	0,08	0,07±0,05
80	1,894	2-Methyl-3-buten-2-ol	0,07	0,10	0,05	0,07±0,03	0,05	-	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07±0,02
81	29,690	β-Bisabolene	-	0,15	0,04	0,10±0,08	0,05	0,08	0,07	0,04	0,05	0,05	0,07±0,04
82	16,200	α-Campholenal	0,02	-	0,11	0,07±0,06	-	-	-	-	-	-	0,07±0,06
83	8,509	α-Thujene	-	-	0,16	0,16±-	0,02	0,03	0,03	-	-	-	0,07±0,08
84	12,512	Eucalyptol (1,8-Cineole)	0,10	-	-	0,10±-	-	-	-	0,03	-	0,03	0,06±0,05
85	16,008	Filifolone	0,06	-	-	0,06±-	-	-	-	-	-	-	0,06±0,00
86	2,546	Penten-3-ol	-	0,08	-	0,08±-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,06±0,03
87	31,855	Spathulenol	-	0,10	0,03	0,07±0,05	-	0,06	0,06	0,04	-	0,04	0,06±0,03
88	11,785	(E,E)-2,4-Heptadienal	-	0,10	-	0,10±-	0,04	0,05	0,05	0,03	0,07	0,05	0,06±0,03
89	3,343	(E)-3-Penten-2-one	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06	0,06±0,00
90	14,969	Methyl benzoate	-	-	0,05	0,05±-	-	-	-	-	-	-	0,05±0,00
91	25,959	Benzyl isovalerate	0,04	0,06	0,05	0,05±0,01	0,06	-	0,06	-	-	-	0,05±0,01
92	9,334	Camphene	0,02	-	0,11	0,07±0,06	-	-	-	-	0,02	0,02	0,05±0,05
93	16,315	Alloocimene-2	0,04	-	0,02	0,03±0,01	0,03	0,08	0,06	0,08	0,04	0,06	0,05±0,03
94	26,399	α-Gurjunene	-	-	0,04	0,04±-	-	0,07	0,07	0,04	0,05	0,05	0,05±0,01
95	19,286	Decanal	-	-	-	-	0,03	-	0,03	0,03	0,08	0,06	0,05±0,03
96	21,014	Piperitone	0,03	-	-	0,03±-	0,06	-	0,06	-	-	-	0,05±0,02
97	27,324	α-Cedrol	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05	0,05±0,00
98	3,802	2-Methylheptane	0,04	-	0,02	0,03±0,01	0,02	0,04	0,03	0,07	0,08	0,08	0,04±0,03
99	9,680	Hept-2(E)-enal	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,06	0,05	0,04±0,02
100	28,200	(+)-Epi-bicyclosesquiphellandrene	-	0,07	-	0,07±-	0,03	0,03	0,03	-	-	-	0,04±0,02
101	42,565	n-Octyl ether	-	-	-	-	0,04	-	0,04	-	-	-	0,04±0,00
102	18,277	4-Terpineol	-	-	0,08	0,08±-	-	-	-	0,02	0,03	0,03	0,04±0,03
103	16,951	Camphor	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	0,04±0,00
104	3,640	(E)-2-Pentenal	-	-	0,02	0,02±-	-	-	-	-	0,06	0,06	0,04±0,03

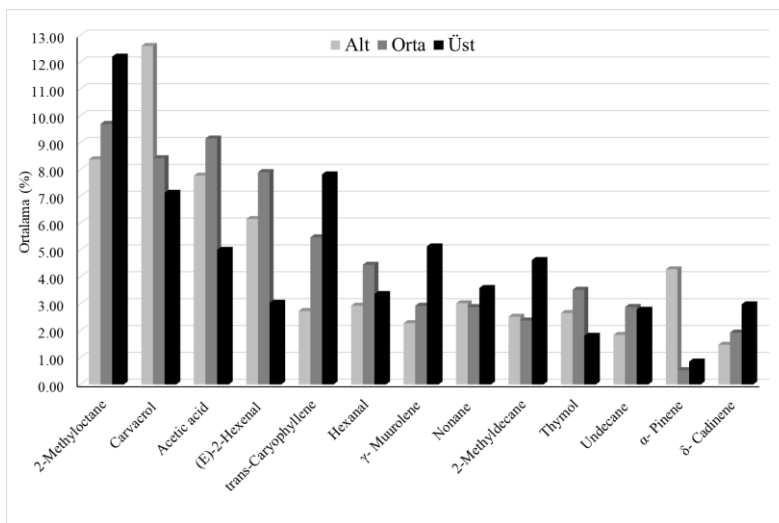
Sayı	Rt	Bileşenler	Alt			Orta		Üst		Genel ortalama /Standart sapma			
			ÖA1 (%)	ÖA2 (%)	ÖA3 (%)	Ortalama /Standart sapma	ÖA4 (%)	ÖA5 (%)	Ortalama		ÖA6 (%)	ÖA7 (%)	Ortalama
105	11,497	Phellandrene <alpha->	-	-	0,04	0,04±-	-	-	-	-	-	-	0,04±0,00
106	1,677	2-Methylpropenal	0,03	0,03	0,03	0,03±0,00	0,02	-	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03±0,01
107	4,256	3-Methyl-2-butenal	-	-	0,03	0,03±-	-	-	-	-	-	-	0,03±0,00
108	28,815	<i>ar</i> -Curcumene	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	0,03	0,03±0,00
109	19,280	Verbenone	-	-	0,03	0,03±-	-	-	-	-	-	-	0,03±0,00
110	19,949	Thymyl methyl ethe	-	-	-	-	0,03	0,03	-	-	-	-	0,03±0,00
111	23,212	Hexyl hexoate	0,04	-	0,02	0,03±0,01	0,03	-	0,03	-	-	-	0,03±0,01
112	3,838	Toluene	-	-	0,02	0,02±-	-	-	-	-	-	-	0,02±0,00
113	9,488	Verbenene	-	-	0,01	0,01±-	-	-	-	-	-	-	0,01±0,00
Toplam			100	100	100		100	100		100	100		100,00
Kimyasal Grup (%)													
Alkoller			0,1	0,18	0,32		0,07	0,04		0,1	0,15		
Alkanlar			48,93	30,62	31,26		44,76	46,66		61,19	59,27		
Esterler			0,08	0,06	0,12		0,09	0,09		0,12	0,08		
Ketonlar			0,58	0,9	0,66		0,65	0,42		0,54	0,63		
Monoterpenler			17,39	8,74	26,63		9,9	10,47		16,84	18,75		
Seskiterpenler			31,51	56,74	39,69		42,33	40,43		19,7	18,86		
Diğerleri			1,42	2,77	1,31		2,22	1,91		1,5	2,26		
Toplam			100	100	100		100	100		100	100		

H. perforatum yapraklarının uçucu bileşen analizi sonucunda elde edilen bileşenlerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmış ve yükselti gruplarına göre dağılımı Çizelge 3'te sunulmuştur. Tüm yükselti gruplarında toplam 122 bileşen (alkoller, alkanlar, esterler, ketonlar, monoterpenler, seskiterpenler ve diğerleri olarak gruplandırılmıştır) tespit edilmiştir. Bu 122 bileşenin 73'ü tüm yükselti gruplarında ortak bulunurken, 18'itek yükselti grubunda saptanmıştır. Yapraklardan elde edilen 122 bileşenin 106'sı alt, 90'ı orta, 103'ü ise üst yükselti grubunda tespit edilmiştir. Farklı yükselti grubuna ait toplam 7 örnek alanın, ortalama ve standart sapma değerlerine göre en yüksek oranlara sahip 3 ana uçucu bileşeni sırasıyla 2-methyl-octane (9,85±6,45), carvacrol (9,85±6,07) ve acetic acid (7,38±2,78) olmuştur (Çizelge 3). Alt ve orta yükselti grubunun örnek alan ortalamalarına göre ilk üç ana bileşenini 2-methyl-octane, carvacrol ve acetic acid bileşenleri oluşturmuştur. Bu bileşenler, alt yükselti grubunda sırasıyla %8,38, %12,60 ve %7,77, orta yükselti grubunda ise yine sırasıyla %9,70, %8,42 ve %9,15 oranında bulunmuştur. Ayrıca carvacrol oranının alt yükselti grubunda yer alan ÖA2'de önemli ölçüde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Üst

yükselti grubunda ise 2-methyl-octane (%12,21), *trans*-caryophyllene (%7,82) ve carvacrol (%7,13) bileşenleri örnek alan ortalamalarına göre en yüksek yüzdeye sahip bileşenler olmuştur.

Şekil 4'te türün yapraklarında tespit edilen ilk 3 ana bileşen ve onları takip eden bazı diğer uçucu bileşenlerin yükselti gruplarına göre ortalama değerleri verilmiştir. Görüleceği üzere daha önce çiçek uçucu yağ bileşenlerinde olduğu gibi, yine başta birincil ana bileşen olan 2-methyl-octane olmak üzere tüm uçucu bileşenlerin ortalama değerlerinde yükselti gruplarına göre varyasyon tespit edilmiştir.

Son olarak *H. perforatum*'un çiçek ve yapraklarında tespit edilen uçucu yağ bileşen sayılarının, yükselti gruplarına göre bileşen yüzde dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Burada görüleceği üzere her iki bitki organından elde edilen örneklerde alt yükselti grubunda tespit edilen uçucu yağ bileşen sayıları daha fazladır. Çiçekte yükselti artışı ile birlikte uçucu yağ bileşen sayısı doğrusal bir azalış gösterirken, yaprakta üst yükselti grubuna ait örneklerde, orta yükselti örneklerine oranla sayının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

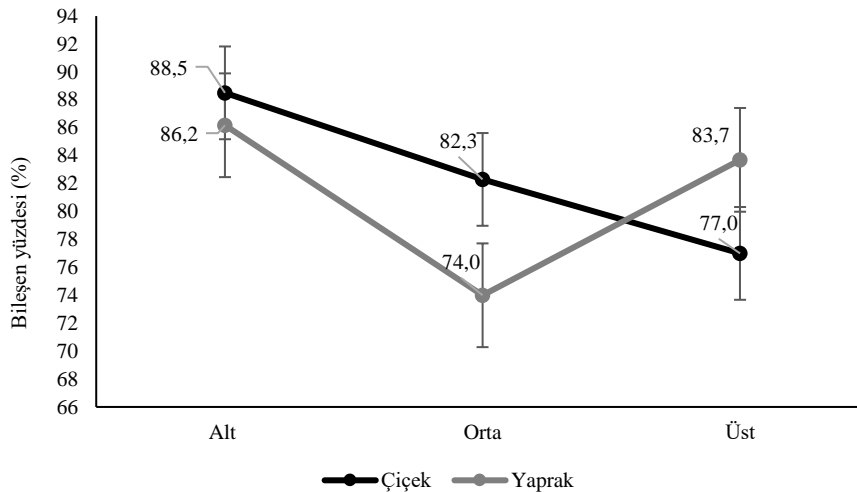


Şekil 4. *Hypericum perforatum* yapraklarının uçucu bileşen içeriğindeki temel bileşenlerin yükselti gruplarına göre dağılımı
Figure 4. Distribution of the main components in the volatile composition of *Hypericum perforatum* leaves across elevation groups

Çizelge 3. *Hypericum perforatum* yapraklarının uçucu yağ analiz bulguları
Table 3. Essential oil analysis findings of *Hypericum perforatum* leaves

Sayı	Rt	Bileşenler	ALT			ORTA			ÜST			Genel ortalama /Standart sapması	
			ÖA1 %	ÖA2 %	ÖA3 %	Ortalama /Standart sapma	ÖA4 %	ÖA5 %	Ortalama	ÖA6 %	ÖA7 %		Ortalama
1	6,456	2-Methyloctane	19,73	1,84	3,57	8,38±9,87	5,38	14,02	9,70	12,59	11,82	12,21	9,85±6,45
2	22,752	Carvacrol	5,71	23,35	8,75	12,60±9,43	8,91	7,94	8,42	8,00	6,27	7,13	9,85±6,07
3	1,888	Acetic acid	7,19	11,46	4,67	7,77±3,43	8,07	10,24	9,15	6,12	3,90	5,01	7,38±2,78
4	6,080	(E)-2-Hexenal	6,77	9,81	1,90	6,16±3,99	8,81	7,00	7,91	4,14	1,94	3,04	5,77±3,17
5	26,797	trans-Caryophyllene	3,02	2,34	2,85	2,74±0,35	6,41	4,54	5,48	10,08	5,56	7,82	4,97±2,71
6	4,599	Hexanal	2,29	5,54	0,97	2,93±2,35	2,50	6,41	4,46	4,61	2,12	3,37	3,49±2,02
7	28,623	γ-Murolene	2,59	1,47	2,78	2,28±0,71	4,11	1,75	2,93	3,48	6,80	5,14	3,28±1,80
8	7,622	Nonane	3,42	0,66	4,98	3,02±2,19	1,75	4,01	2,88	4,66	2,52	3,59	3,14±1,58
9	13,858	2-Methyldecane	4,51	0,69	2,36	2,52±1,92	3,16	1,60	2,38	3,74	5,52	4,63	3,08±1,68
10	22,465	Thymol	1,83	4,87	1,28	2,66±1,93	3,65	3,40	3,53	2,07	1,55	1,81	2,66±1,33
11	15,257	Undecane	2,01	0,62	2,89	1,84±1,14	3,57	2,20	2,89	3,53	2,03	2,78	2,41±1,03
12	8,748	α-Pinene	2,84	0,43	9,59	4,29±4,75	0,49	0,57	0,53	0,95	0,75	0,85	2,23±3,35
13	30,017	δ-Cadinene	1,60	1,07	1,76	1,48±0,36	2,71	1,15	1,93	1,83	4,13	2,98	2,04±1,07
14	12,229	p-Cymene	0,79	0,62	7,89	3,10±4,15	1,03	0,69	0,86	0,89	1,58	1,24	1,93±2,65
15	2,685	Pentanal	2,30	2,46	0,80	1,85±0,92	1,22	2,55	1,89	1,21	1,14	1,18	1,67±0,74
16	29,068	β-Selinene	2,01	1,92	2,80	2,24±0,48	1,77	0,69	1,23	1,22	1,16	1,19	1,65±0,69
17	25,323	α-Copaene	1,13	0,52	1,58	1,08±0,53	1,78	0,61	1,20	1,66	4,12	2,89	1,63±1,21
18	29,846	γ-Cadinene	1,17	0,90	1,26	1,11±0,19	1,89	0,91	1,40	1,48	2,78	2,13	1,48±0,67
19	29,310	α-Selinene	1,71	1,57	2,59	1,96±0,55	1,53	0,67	1,10	1,11	1,12	1,12	1,47±0,61
20	10,751	6-Methyl-5-hepten-2-one	0,96	1,01	0,76	0,91±0,13	1,45	2,58	2,02	2,02	1,35	1,69	1,45±0,65
21	13,555	γ-Terpinene	0,16	0,23	5,95	2,11±3,32	0,45	-	0,45	-	0,42	0,42	1,44±2,52
22	1,434	2-Propanone & Acetone	1,71	2,07	1,20	1,66±0,44	0,77	1,73	1,25	0,97	1,32	1,15	1,40±0,46
23	10,220	3-Methyl-nonane	2,83	0,23	0,54	1,20±1,22	1,61	2,01	1,81	0,54	0,87	0,71	1,23±0,95
24	2,530	Penten-3-ol	2,04	1,86	0,57	1,49±0,80	0,94	1,85	1,40	0,50	0,52	0,51	1,18±0,71
25	38,358	Ethylhexyl chloroformate	1,64	0,33	0,10	0,69±0,83	0,89	2,77	1,83	-	-	-	1,15±1,08
26	21,428	2-Methyl-dodecane	1,38	0,50	1,33	1,07±0,49	1,48	0,31	0,90	1,84	0,53	1,19	1,05±0,59
27	14,622	α-Terpinolen	-	-	1,03	1,03±-	-	-	-	-	-	-	1,03±0,00
28	11,774	(E,E)-2,4-Heptadienal	0,72	1,98	0,36	1,02±0,85	0,94	1,34	1,14	1,04	0,60	0,82	1,00±0,54
29	15,406	Nonanal	0,81	1,17	0,36	0,78±0,41	1,11	1,51	1,31	1,40	0,46	0,93	0,97±0,45
30	30,102	Calamenene	0,63	0,47	0,78	0,63±0,16	1,12	0,57	0,85	0,84	1,76	1,30	0,88±0,44
31	26,653	β-Cedrene	1,02	0,24	0,99	0,75±0,44	1,05	0,70	0,88	0,39	1,37	0,88	0,82±0,40
32	27,901	trans-β-Farnesene	0,70	0,98	0,56	0,75±0,21	1,18	0,54	0,86	1,06	0,72	0,89	0,82±0,25
33	11,211	(E,Z)-2,4-Heptadienal	0,55	1,14	0,31	0,67±0,43	0,56	1,10	0,83	0,59	0,83	0,71	0,73±0,31
34	10,923	β-Myrcene	0,39	-	2,62	1,51±1,58	0,22	0,23	0,23	0,33	0,52	0,43	0,72±0,94
35	29,186	α-Amorphene	0,47	0,30	0,59	0,45±0,15	0,92	0,44	0,68	0,74	1,53	1,14	0,71±0,42
36	25,105	α-Ylangene	0,49	0,18	0,55	0,41±0,20	0,82	0,23	0,53	0,73	1,83	1,28	0,69±0,56
37	9,824	Benzaldehyde	0,72	1,56	0,27	0,85±0,65	0,57	0,53	0,55	-	0,42	0,42	0,68±0,46
38	12,436	Limonene	0,29	0,09	2,32	0,90±1,23	0,37	0,24	0,31	0,46	0,37	0,42	0,59±0,77
39	27,425	Aromadendrene	0,40	0,18	0,60	0,39±0,21	0,61	0,30	0,46	0,63	1,16	0,90	0,55±0,32
40	19,280	Verbenone	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	0,55±0,00
41	14,068	3,5-Octadien-2-one	0,31	1,31	0,24	0,62±0,60	-	-	-	0,50	0,34	0,42	0,54±0,44
42	31,862	Spathulenol	0,41	0,84	0,25	0,50±0,31	0,69	0,51	0,60	0,48	0,50	0,49	0,52±0,19
43	29,689	β-Bisabolene	0,31	0,75	0,41	0,49±0,23	0,69	0,36	0,53	0,39	0,63	0,51	0,51±0,18
44	10,372	β-Pinene	0,16	-	0,40	0,28±0,17	0,13	0,16	0,15	2,09	0,07	1,08	0,50±0,79
45	32,000	Caryophyllene oxide	0,27	0,75	0,32	0,45±0,26	0,63	0,34	0,49	0,43	0,73	0,58	0,50±0,20
46	2,197	2-Butenal	0,69	0,60	0,45	0,58±0,12	0,52	0,31	0,42	0,42	0,39	0,41	0,48±0,13
47	11,935	α-Terpinene	0,20	0,19	2,12	0,84±1,11	0,27	0,16	0,22	0,15	0,26	0,21	0,48±0,72
48	29,399	β-Himachalene	0,20	0,19	0,52	0,30±0,19	0,81	0,20	0,51	0,50	0,91	0,71	0,48±0,30
49	25,598	β-Bourbonene	-	-	0,26	0,26±-	0,32	-	0,32	0,39	0,93	0,66	0,48±0,31
50	14,070	cis-Linalool Oxide	-	-	-	-±-	0,75	1,04	0,90	0,04	0,04	0,04	0,47±0,50
51	27,139	β-Cubebene	0,26	0,15	0,37	0,26±0,11	0,56	0,12	0,34	0,47	0,90	0,69	0,40±0,27
52	3,633	(E)-2-Pentenal	0,42	0,83	0,18	0,48±0,33	0,38	0,50	0,44	0,30	0,20	0,25	0,40±0,22
53	24,335	α-Cubebene	0,29	0,21	0,48	0,33±0,14	0,49	0,16	0,33	0,31	0,80	0,56	0,39±0,22
54	16,197	α-Campholenal	-	-	0,39	0,39±-	-	-	-	-	-	-	0,39±0,00
55	2,235	3-Hydroxybutanal	-	0,54	-	0,54±-	-	0,21	0,21	-	-	-	0,37±0,24
56	26,944	Cedr-8(15)-ene	0,42	-	0,40	0,41±0,01	0,40	0,28	0,34	0,18	0,51	0,35	0,37±0,12
57	27,808	α-Himachalene	0,24	-	0,26	0,25±0,01	0,65	-	0,65	0,27	-	0,27	0,36±0,20
58	27,796	Humulen-(v1)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,35	0,35±0,00
59	18,299	4-Terpineol	-	-	0,38	0,38±-	0,28	0,26	0,27	0,40	0,41	0,41	0,35±0,07
60	13,563	Carvone	-	-	-	-	-	0,35	0,35	0,34	-	0,34	0,34±0,01
61	28,753	(+)-Cycloisositivene	0,19	0,15	0,16	0,17±0,02	0,73	0,21	0,47	0,28	0,53	0,41	0,32±0,22
62	30,264	Dihydroactinidiolide	0,20	0,52	0,10	0,27±0,22	0,49	0,22	0,36	0,31	0,36	0,34	0,31±0,15
63	19,287	Decanal	0,22	0,31	0,19	0,24±0,06	0,25	0,32	0,29	0,56	-	0,56	0,31±0,13
64	28,129	Alloaromadendrene	0,09	-	0,40	0,25±0,22	0,17	-	0,17	0,19	0,58	0,39	0,29±0,20
65	33,610	Muurolool <alpha-,epi->	-	-	-	-±-	0,20	0,37	0,29	0,26	-	0,26	0,28±0,09
66	20,839	Thymoquinone	-	0,55	0,28	0,42±0,19	0,22	0,26	0,24	0,11	0,16	0,14	0,26±0,15
67	30,591	α-Muurolole	0,20	0,16	0,20	0,19±0,02	0,35	0,16	0,26	0,22	0,55	0,39	0,26±0,14
68	28,816	Germacrene D	-	-	0,39	0,39±-	0,26	0,26	0,26	0,15	0,26	0,21	0,26±0,09
69	25,237	Dodecanal	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,26	0,26±0,00
70	28,000	α-Humulene	0,20	0,14	0,27	0,20±0,07	0,33	0,21	0,27	0,31	0,38	0,35	0,26±0,08
71	1,500	Dimethyl sulfide	0,36	0,44	0,11	0,30±0,17	0,16	0,33	0,25	-	0,14	0,14	0,26±0,14
72	25,535	α-Cedrene	0,43	-	0,14	0,29±0,21	0,18	-	0,18	-	-	-	0,25±0,15
73	28,530	Cadina-1(6),4-diene <10betaH->	-	-	0,15	0,15±-	0,18	-	0,18	-	0,43	0,43	0,25±0,15
74	7,955	Butyrolactone	-	0,25	-	0,25±-	-	-	-	-	-	-	0,25±0,00
75	13,136	trans-β-Ocimene	0,27	0,37	0,17	0,27±0,10	0,33	0,23	0,28	0,24	0,10	0,17	0,24±0,09
76	21,011	Piperitone	0,37	0,37	0,16	0,30±0,12	0,12	-	0,12	0,16	-	0,16	0,23±0,13
77	12,520	Eucalyptol (1,8-Cineole)	0,46	0,24	0,11	0,27±0,18	0,17	0,25	0,21	-	0,15	0,15	0,23±0,13
78	30,444	Cadina-1,4-diene	-	-	0,06	0,06±-	-	-	-	-	0,38	0,38	0,22±0,23
79	12,980	Benzeneacetaldehyde	0,30	0,28	0,05	0,21±0,14	0,13	0,35	0,24	0,17	0,25	0,21	0,22±0,11
80	30,724	α-Calacorene	0,14	-	0,14	0,14±0,00	0,23	-	0,23	0,20	0,35	0,28	0,21±0,09
81	12,609	2,5,5-Trimethyl-2,6-heptadien-4-one \$\$ Artemisia	-	0,21	-	0,21±-	-	-	-	-	-	-	0,21±0,00
82	42,567	n-Octyl ether	0,15	-	-	0,15±-	-	0,25	0,25	-	-	-	0,20±0,07
83	8,510	α-Thujene	-	-	0,30	0,30±-	-	0,10	0,10	-	-	-	0,20±0,15

Sayı	Rt	Bileşenler	ALT			ORTA			ÜST			Genel ortalama /Standart sapma	
			ÖA1 %	ÖA2 %	ÖA3 %	Ortalama /Standart sapma	ÖA4 %	ÖA5 %	Ortalama	ÖA6 %	ÖA7 %		Ortalama
84	27,738	(Z)-Geranylacetone	0,11	0,27	-	0,19±0,11	0,09	0,34	0,22	-	-	-	0,20±0,12
85	11,495	α- Phellandrene	-	-	0,24	0,24±-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,19±0,07
86	28,333	Cedr-8-ene	0,17	-	0,27	0,22±0,07	0,18	0,12	0,15	0,06	0,31	0,19	0,19±0,09
87	14,697	trans-Linalool Oxide	-	-	-	-	0,15	0,20	0,18	-	-	-	0,18±0,03
88	1,670	2-Methylacrolein	0,16	0,22	0,11	0,16±0,06	0,06	0,12	0,09	0,17	0,37	0,27	0,17±0,10
89	24,425	α- Longipinene	-	-	-	-	0,15	-	0,15	-	0,18	0,18	0,17±0,02
90	3,348	(E)-3-Penten-2-one	-	0,28	0,05	0,17±0,16	-	-	-	-	-	-	0,17±0,17
91	19,720	β- Cyclocitral	-	-	0,06	0,06±-	0,21	0,18	0,20	0,19	0,19	0,19	0,17±0,06
92	11,341	Decane	0,31	-	0,11	0,21±0,14	-	-	-	0,11	0,12	0,12	0,16±0,10
93	12,605	n-Butylcyclohexane	-	-	-	-	0,21	-	0,21	0,12	-	0,12	0,16±0,06
94	16,956	Camphor	0,15	-	-	0,15±-	-	-	-	-	0,18	0,18	0,16±0,02
95	9,392	5,5-Dimethyl-2(5H)-furanone	-	0,25	0,09	0,17±0,11	-	-	-	-	0,14	0,14	0,16±0,08
96	27,679	β- Patchoulene	-	-	0,11	0,11±-	-	-	-	-	0,20	0,20	0,16±0,06
97	32,327	Salvial-4(14)-en-1-one	0,07	0,17	0,08	0,11±0,06	0,27	-	0,27	0,19	0,18	0,19	0,16±0,07
98	8,020	2,4-Hexadienal	-	0,26	0,14	0,20±0,08	-	-	-	-	0,05	0,05	0,15±0,10
99	31,357	Farnesol	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,15	0,15±0,00
100	15,540	3,4-Dimethylcyclohexanol	-	0,15	-	0,15±-	-	0,15	0,15	-	-	-	0,15±0,00
101	7,695	Heptanal	-	0,14	-	0,14±-	-	-	-	-	-	-	0,14±0,00
102	18,880	α- Terpineol	-	0,15	-	0,15±-	0,12	-	0,12	-	-	-	0,13±0,02
103	16,005	Filifolone	0,23	0,16	0,06	0,15±0,09	-	-	-	-	0,06	0,06	0,13±0,09
104	5,900	(E)-2-Hexen-1-ol	0,12	0,11	-	0,12±0,01	0,11	0,21	0,16	0,09	-	0,09	0,13±0,05
105	11,448	Octanal	-	-	-	-	-	-	-	0,13	-	0,13	0,13±0,00
106	11,542	Hex-3(Z)-enyl acetate	-	-	0,04	0,04±-	-	-	-	0,20	-	0,20	0,12±0,11
107	17,926	Cyclooctyl alcohol	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,12	0,12±0,00
108	2,324	2-Methylbutanal	-	0,26	0,04	0,15±0,16	-	-	-	-	0,05	0,05	0,12±0,13
109	9,695	Hept-2(E)-enal	0,12	0,17	0,09	0,13±0,04	0,14	0,07	0,11	0,16	0,06	0,11	0,12±0,04
110	1,620	Isobutanal	0,10	0,11	-	0,11±0,01	-	0,14	0,14	-	-	-	0,11±0,02
111	12,721	cis-Ocimene	-	-	-	-	0,12	-	0,12	0,11	-	0,11	0,11±0,01
112	21,135	Chrysanthenyl acetate	0,15	-	0,08	0,12±0,05	-	-	-	-	-	-	0,11±0,05
113	14,794	Dimethylstyrene <alpha-para->	-	-	0,14	0,14±-	-	-	-	0,07	0,12	0,10	0,11±0,04
114	4,275	3-Methyl-2-butenal	-	0,18	0,10	0,14±0,06	0,08	0,07	0,08	-	0,10	0,10	0,11±0,04
115	26,399	α- Gurjunene	-	-	0,04	0,04±-	-	-	-	-	0,16	0,16	0,10±0,08
116	25,793	β- Elemene	-	-	0,10	0,10±-	-	-	-	-	-	-	0,10±0,00
117	39,377	Phytone	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-	0,10	0,10±0,00
118	28,190	(+)-Epi-bicyclosquiphellandrene	-	-	0,10	0,10±-	-	-	-	-	0,09	0,09	0,10±0,01
119	9,487	Verbenene	-	-	0,05	0,05±-	-	-	-	-	0,14	0,14	0,09±0,06
120	26,191	Tetradecane	-	0,11	-	0,11±-	0,08	-	0,08	-	-	-	0,09±0,02
121	34,701	Cadalin	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,08	0,08±0,00
122	13,314	Benzyl alcohol	-	-	-	-	-	-	-	0,07	-	0,07	0,07±0,00
Toplam			100	100	100	-	100	100	-	100	100	-	-
Kimyasal Grup (%)													
Alkoller			2,16	2,12	1,6		1,05	2,21		0,66	0,64		
Alkanlar			29,68	3,85	13,42		13,79	22,55		23,27	17,89		
Esterler			0,15	0	0,12		0	0		0,2	0		
Ketonlar			3,04	3,73	2,17		2,34	4,66		3,49	3,22		
Monoterpenler			11,53	26	40,84		13,61	12,21		13,66	11,26		
Seskiterpenler			21,06	15,81	25,68		34,37	16,4		30,53	45,31		
Diğerleri			32,36	48,49	16,14		34,68	41,98		28,23	21,66		
Toplam			100	100	100		99,84	100		100	100		



Şekil 5. Çiçek ve yapraklarda tespit edilen uçucu bileşen sayılarının yükselti gruplarına göre yüzde (%) dağılımları
 Figure 5. Percentage (%) distributions of the number of volatile components detected in flowers and leaves by elevation groups

4. Tartışma ve sonuç

Uçucu yağlar, bitkilerin çeşitli kısımlarından ekstrakte edilen ve geniş kullanım alanları olan doğal sekonder metabolitlerdir. Aromaterapi, kozmetik, parfümeri, kişisel bakım ürünleri, gıda ve ilaç endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak tercih edilmektedirler (Turek ve Stintzing, 2013; Hanif vd., 2019). Bunun yanı sıra sentetik koruyucuların kullanımındaki risk nedeniyle, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak için doğal katkı maddeleri olarak da kullanılmaktadır (Tongnuanchan ve Benjakul, 2014). Ayrıca doğadaki birçok bitkiden elde edilen uçucu yağların antibakteriyel, antiviral, antifungal vb., tıbbi niteliği bulunmaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra insektisit etki gösterebilen uçucu yağların, bitkilerin korunmasında önemli rolleri olabilmektedir. Bazı böcekleri çekerek polenlerin ve tohumların dağılmasını destekleyebildikleri gibi, istenmeyen böceklerin uzaklaştırılmasında da uçucu yağların yardımcı olabildikleri ifade edilmiştir (Bakkali vd., 2008). Burada ifade edilen bilgiler dışında, bitkilerden elde edilen uçucu yağların daha birçok tıbbi ve aromatik niteliklerini ve buna bağlı olarak sağlık, kozmetik, besin ve gıdaların korunması gibi önemli işlevlerini saymak mümkündür.

H. perforatum'un farklı ülkelerde ve lokalitelerde uçucu yağ bileşenleri üzerine yapılan çalışmaların bir kısmında ana bileşenler önemli benzerlik gösterirken, bazılarında farklılıklar olduğu görülmüştür. Örneğin; Chialva vd. (1981) 2-Methyloctene (%16,4) ve α -pinene (%11), Bombardelli ve Morazzoni (1995) α -pinene, Weyerstahl vd. (1995) α -pinene (%67,3), Gudziec vd. (1997) cis-caryophyllene (%48), Nogueira vd. (1998) germacrene D (%20) ve 2-methyloctene (%9,7), Gudziec vd. (2001) β -caryophyllene (%14,2) ve 2-methyloctene (%13,1), Baser vd. (2002) β -caryophyllene (%11,7), Mockute vd. (2003) β -caryophyllene (%10,5-19,1), Petrakis vd. (2005) α -pinene ve β -pinene, Pintore vd. (2005) 2-methyloctene (%21,1), germacrene D (%17,6) ve α -pinene (%15,8), Touafek vd. (2005) thymol (%22,1), caryophylleneoxide (%13,3-35,8) ve germacrene D (%16,1-31,5), Pavlovic vd. (2006) α -pinene (%21,0), 2-methyloctene (%12,6) ve γ -muurolene (%6,9), Alan vd. (2010) germacrene D (%23), β -caryophyllene (%14), bicyclogermacrene (%5), caryophyllene oxide (%4) ve spathulenol (%4) şeklinde ana bileşen bulguları elde etmişlerdir. Bu çalışmalar incelendiğinde, uçucu yağların genel olarak bitkinin toprak üstü kısımlarından elde edildiği, yaprak ve çiçek ayrımlarının yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bu durum farklı çalışmalarda ana uçucu yağ bileşenlerinin değişiminde önemli bir etkiye sebep olmuştur. Çalışmamızda çiçeklerde 5-methylundecane (%18,10), trans-caryophyllene (%11,0) ve α -pinene (%9,02) ana bileşenleri, yapraklarda ise 2-methyl-octane (%9,85), carvacrol (%9,85) ve acetic acid (%7,38) ana bileşenleri tespit edilmiştir. Böylece bu bileşenler yukarıdaki verilen çalışmalar ile kıyaslandığında benzerlik ve farklılıkların olduğu görülmektedir. Örneğin 2-methyl-octene ana bileşeninin önceki çalışmalardan ciddi bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Fakat α -pinene bileşeni için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Nitekim, Weyerstahl vd. (1995), α -pinene bileşenini %67,3 oranında tespit etmiştir. Bu oran çalışmamızda elde edilen ortalama değer (%9,02) ile önemli bir fark oluşturmaktadır. Ayrıca birçok çalışmada *H. perforatum*'un uçucu yağ bileşenleri arasında bulunan β -caryophyllene bileşeni (Baser vd., 2002; Mockute

vd., 2003; Alan vd., 2010; Çırak vd., 2010), bu çalışmada hem çiçek hem de yaprakta tespit edilmemiştir.

Literatürde çiçek ve yaprak örneklerinde uçucu bileşenlerin ayrı ayrı belirlendiği çalışmalarda mevcuttur. Örneğin bu çalışmalarda Radusiene vd. (2005), yapraklarda β -caryophyllene (%7,7-34,0), caryophylleneoxide (%9,3-25,7); çiçeklerde ise tetradecanol (%1,1-24,5), spathulenol (%6,4-15,7) ve viridifloral (%4,5-11,0), Lotocka ve Osinska (2010), yapraklarda 2-methyloctene (%39,43), β -caryophyllene (%7,52), α -pinene (%7,09); çiçeklerde ise α -pinene (%16,42), 2-methyl-octene (%14,17) ve α -terpineol (%10,09), Smelcerovic vd. (2007), yapraklarda α -bergamotene (%11,5), germacrene D (%10,0), caryophylleneoxide (%6,1), çiçeklerde ise 2-methyl-octene (%27,3) ve α -pinene (%15,2) bileşenlerini tespit etmişlerdir. Görüleceği üzere çiçek ve yaprakların ayrı ayrı değerlendirmeye alındığı bu çalışmalarda yine ana uçucu bileşenlerin farklılıkları ve kısmi benzerlikleri görülmektedir. Nitekim yine çalışmamızdan elde edilen bulgularla da kısmi benzerliklerin ve farklılıkların olduğunu rapor etmek mümkündür.

Yurt dışında yapılan çalışmaların haricinde Türkiye özelinde türe yönelik yapılan çalışmalarda da genellikle çiçek ve yaprak olarak uçucu yağ bileşenleri incelenmediği, toprak üstü kısımlarının ele alındığı görülmektedir. Türün ana bileşenleri; Gaziantep yöresinde α -pinene (%61,7) (Çakır vd., 1997), Muğla-Ula yöresinde β -selinene (%27,34), 1-dodecanol (%7,70), germacrene-B (%7,60) (Özderin vd., 2011), Bursa ve Eskişehir illerinde α -pinene (%50,3), carvacrol (%21,9) (Erken vd., 2001), Eskişehir ilinde α -pinene (%33,3) ve β -pinene (%12,5) (Kıyan, 2010) olarak rapor edilmiştir. Çalışmamızda bu bileşenlerden α -pinene ve carvacrol ana bileşenler arasında benzer olarak yer almıştır. Bitkinin çiçekli döneminde yapılan bir çalışmada, Türkiye'de 10 farklı popülasyonundan elde edilen uçucu yağ bileşenlerinin popülasyonlar arasında önemli ölçüde değişim gösterdiği ve farklı popülasyonlarda β -caryophyllene (%4,1-5,9), α -selinene (%4,1-10,4), β -selinene (%5,1-19,6), caryophylleneoxide (%6,0-12,2), spathulenol (%2,3-5,1), δ -cadinene (%3,0-4,9) ve γ -muurolene (%5,0-9,6) bileşenlerinin bulunma yüzdelerinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Çırak vd., 2010). Yine farklı dönemlerde elde edilen uçucu yağ bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada Van ilinde Temmuz, Eylül ve Kasım aylarında, toprak üstü kısımlarından elde edilen uçucu yağlarda en fazla tespit edilen bileşenler α -pinene, β -pinene, β -myrcene olmuştur (Yıldırım vd., 2009). Tüm bu bulgular bitkinin uçucu bileşen oranlarında, analiz edilen bitki organlarının farkının yanında, bitkinin toplanma zamanı, lokalite, popülasyon ve genetik farklılıklar gibi faktörlerinde önemli ölçüde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim İran'da *H. perforatum*, farklı popülasyonlardan toplanarak uçucu yağ bileşimlerinin analiz edildiği çalışmanın sonucunda uçucu yağların bileşiminde farklılıklar tespit edilmiş ve bu farklılıkların sebebi olarak popülasyonlardaki bitkilerin genetik farklılıkları ve farklı fizyolojik koşullardan kaynaklanabileceği şeklinde ifade edilmiştir (Morshedloo vd., 2015). Ayrıca bu farkın sadece uçucu yağ oranları için değil, aynı zamanda bileşen sayıları içinde geçerli olduğunu söylemek mümkündür. Zira, Doğu Anadolu Bölgesi'nde farklı lokalitelerden (Malatya, Tunceli, Sivrice, Çemişgezek, Palu, Keban, Bitlis) çiçekli dönemde toprak üstü kısımlardan elde edilen uçucu yağdan 74 bileşen belirlenirken (Deveci, 2014), bu çalışmada Afyonkarahisar-

Sultandağı Yöresinden toplanan bitkinin yapraklarından 123, çiçeklerinden ise 113 bileşen tespit edilmiştir.

Çalışmamızda ayrıca farklı yükselti gruplarından toplanan *H. perforatum*'un çiçekleri ve yapraklarının uçucu bileşenleri belirlenmiş ve bu bileşenler ile yükselti ilişkisi incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, bitkinin çiçeklerinde toplam 113 farklı uçucu bileşen tespit edilmiştir. Bu bileşenlerin 48'i tüm yükselti gruplarında görülen ortak bileşenler iken, 13'ü sadece tek bir yükselti grubunda gözlemlenmiştir. Yapraklar için ise toplamda 123 bileşen belirlenmiştir. Bu bileşenlerin 51'i tüm yükselti gruplarında görülen ortak bileşenler iken, 16'sı sadece tek bir yükselti grubunda gözlemlenmiştir. Ayrıca *H. perforatum* çiçeklerinden ve yapraklarından örneklerin alındığı farklı yükselti seviyelerinde bileşen oranlarının değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 2 ve Çizelge 3). Özetle bu çalışmanın sonuçlarına göre, *H. perforatum*'un uçucu bileşenlerinin yükseltiye bağlı olarak değiştiği gözlemlenmektedir. Bu durum, bitkinin yetiştiği çevresel koşulların ve yükselti farklılığının uçucu yağ bileşimini etkilediğini göstermektedir. Örneğin, daha üst yükselti seviyelerinde belirli bileşenlerin baskın olduğu gözlemlenirken, diğer yükselti seviyelerinde farklı bileşenlerin ön plana çıktığı belirlenmiştir. Özellikle farklı yükseltilerdeki iklim özelliklerine bağlı bitkinin fenolojik dönemlerinin uçucu yağ bileşenlerindeki varyasyon üzerinde önemli bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Diğer bir ifade ile bitkinin farklı fenolojik evrelerinde (çiçeklenme öncesi, çiçeklenme dönemi ve meyve oluşumu dönemi), uçucu yağ bileşenlerinin değişiklik göstermesi, bitkinin yaşam döngüsünün farklı aşamalarında, metabolik aktivitesinin ve dolayısıyla bileşiminin de değiştiğini göstermektedir. Buna benzer bir durum Azizi (2008), tarafından yapılan çalışmada ortaya koyulmuştur. Araştırmacı, *H. perforatum*'un çiçeklenme öncesi dönem, çiçeklenme dönemi ve meyve oluşumu dönemi olmak üzere, bitkinin 3 farklı döneminde örnek alarak uçucu yağ bileşimini analiz etmiş ve farklılıkların olduğunu gözlemlenmiştir.

Özetle bitkideki uçucu yağların bileşimi başta genetik nedenlere bağlı olmak üzere, iklim, yağış veya coğrafi kökene bağlı olarak büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir (Rios, 2016). Özellikle ozon konsantrasyonlarındaki değişimler, artan sıcaklıklar, yağış rejimindeki değişiklikler (kuraklık ve sel), toprak tuzluluğundaki artış gibi çevresel stresler bitkinin biyoaktif özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Karalija vd., 2022). Bu nedenle, bitkinin uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesi, gelecekte değişen iklim koşulları altında ne boyutta stres reaksiyonu gösterdiğinin gözlemlenmesi açısından da önem arz etmektedir. Zira günümüzde iklim krizi ile birlikte bu durum daha kritik bir hal almıştır. İklim krizi, bitkilerin büyüme koşullarını (Turek ve Stintzing, 2013) ve dağılımını (Acarer, 2024) önemli ölçüde etkileyen bir faktördür. Değişen iklim koşulları bitkinin büyüme sürecini ve uçucu yağlarının kimyasal bileşenini etkilemektedir (Turek ve Stintzing, 2013). Bu değişiklikler, bitkilerin metabolizmasını, büyüme hızını ve kimyasal bileşenlerinin belirlenmesini etkileyerek, iklim değişikliğinin, bitkinin uçucu yağ içeriği üzerindeki etkilerini anlamak için önemlidir. Belirtilen tüm bu faktörlerin dışında bitkinin kurutma yöntemi ve kullanılan farklı ekstraksiyon tekniklerinin de uçucu yağ bileşenlerini etkileyen faktörler olabileceği ifade edilmektedir (Morshedloo vd., 2015; Güler ve Özdemir, 2024). Tabii ki bu arada atlanılmaması gereken bir

diğer önemli husus ise doğru bitki teşhisidir. Tüm bu bilgiler doğrultusunda özetlemek gerekirse, bu çalışmada, *H. perforatum*'un uçucu bileşenlerinin yükseltiye göre değişen çevresel koşullardaki durumu araştırılmış ve ortaya çıkan değişkenlikte yükselti-iklim-fenoloji ilişkilerinin önemli bir faktör olduğu yorumu yapılmıştır. Elde edilen sonuçların, özellikle uçucu bileşenlerinin ekolojik ve ekonomik çıktılara dönüştürülmesi noktasında önemi büyüktür.

Kaynaklar

- Acarer, A., 2024. Role of climate change on Oriental spruce (*Picea orientalis* L.): Modeling and mapping. *BioResources*, 19(2): 3845-3856. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.3845-3856>
- Akhbari, M., Batooli, H., 2009. Composition of *Hypericum perforatum* L. volatile oil from kashan oil composition of *Hypericum perforatum* L. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture, 3(1): 107-110.
- Alan, S., Demirci, B., Iscan, G., Kose, Y.B., Baser, K.H.C., 2010. Composition and anticandidal activity of the essential oil of *Hypericum perforatum* L. *Asian Journal of Chemistry*, 22(2): 1315.
- Azizi, M., 2008. Change in content and chemical composition of *Hypericum perforatum* L. oil at three harvest time. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 13(2): 79-85. https://doi.org/10.1300/J044v13n02_07
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2): 446-475. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Barnes, J., Arnason, J.T., Roufogalis, B.D., 2019. St John's Wort (*Hypericum perforatum* L.): botanical, chemical, pharmacological and clinical advances. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 71(1): 1-3.
- Baser, K.H.C., Ozek, T., Nuriddinov, H.R., Demirci, A.B., 2002. Essential oils of two *Hypericum* species from Uzbekistan. *Chemistry of Natural Compounds*, 38: 54-57.
- Baytop, T., 1984. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi (Geçmişte ve Bugün) (No. 3255). Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul Üniversitesi.
- Bombardelli, E., Morazzoni, P., 1995. *Hypericum perforatum*, *Fitoterapia*, 66: 43-68.
- Cakir, A., Duru, M. E., Harmandar, M., Ciriminna, R., Passannanti, S., Piozzi, F., 1997. Comparison of the volatile oils of *Hypericum scabrum* L. and *Hypericum perforatum* L. from Turkey. *Flavour and Fragrance Journal*, 12(4): 285-287.
- Chialva, F., Gabri, G., Liddle, P.A.P., Ulian, F., 1981. Study on the composition of the essential oil from *Hypericum perforatum* L. and *Teucrium chamaedrys* L. *Riv. Ital. EPPOS*, 63(6): 286.
- Çırak, C., Bertoli, A., Pistelli, L., Seyis, F., 2010. Essential oil composition and variability of *Hypericum perforatum* from wild populations of northern Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 48(8): 906-914.
- Dauncey, E.A., Irving, J.T.W., Allkin, R., 2019. A review of issues of nomenclature and taxonomy of *Hypericum perforatum* L. and Kew's Medicinal Plant Names Services. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 71(1): 4-14. <https://doi.org/10.1111/jphp.12831>
- Davis, P.H., 1967. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, Vol: 2, Edinburgh.
- Deveci, A., 2014. *Hypericum perforatum* L. (Sarı Kantaron) (*Hypericaceae*) bitkisinin morfolojik, kimyasal (uçucu yağ ve flavonoid) varyasyonlarının araştırılması. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Doğan, H., Fidan, H., Baş, H., Stankov, S., Stoyanova, A., Ercisli, S., ... Bari, A., 2024. Determination of essential oil and chemical composition of St. John's Wort. *Open Chemistry*, 22(1): <https://doi.org/doi:10.1515/chem-2024-0001>

- Erken, S., Malyer, H., Demirci, F., Demirci, Betül., Baser, K. H. C., 2001. Chemical investigations on some *Hypericum* species growing in Turkey-I. Chemistry of Natural Compounds, 37: 434-438.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Fatahi-Vanani, M., Craker, L., Shirmardi, H., 2014. Chemical composition and bioactivity of essential oils of *Hypericum helianthemoides*, *Hypericum perforatum* and *Hypericum scabrum*. Pharmaceutical biology, 52(2): 175-181. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.821663>
- Gudžic, B., Nedeljkovic, J.M., Dorđevic, S., Comor, J.J., 1997. Composition and antimicrobial activity of essential oil of Hyperici Herb (*Hypericum perforatum* L.) from Vlasina region. Facta Universitatis Series: Physics, Chemistry and Technology, 1: 47-51.
- Gudžic, B., Dorđevic, S., Palic, R., Stojanovic, G., 2001. Essential oils of *Hypericum olympicum* L. and *Hypericum perforatum* L. Flavour and Fragrance Journal, 16(3): 201-203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ffj.978>
- Güler, F.D., Özdemir, N., 2024. Chemical composition of essential oils of medicinal plants grown in the thrace region in Türkiye. *Hypericum perforatum* L. Pharmacognosy Magazine, 20(1): 101-106.
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M.T., (Ed.) 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını. İstanbul.
- Hajdari, A., Mustafa, B., Nebija, D., Kashtanjeva, A., Widelski, J., Glowniak, K., Novak, J., 2014. Essential oil composition and variability of *Hypericum perforatum* L. from wild population in Kosovo. Current Issues in Pharmacy and Medical Sciences, 27(1): 51-54.
- Hanif, M.A., Nisar, S., Khan, G. S., Mushtaq, Z., Zubair, M., 2019. Essential Oils. Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production (Ed., Malik, S.), Springer International Publishing, pp. 3-17. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_1
- Hişil, Y., Şahin, F., Omay, S.B., 2005. Kantaronun (*Hypericum perforatum* L.) bileşimi ve tıbbi önemi. Uluslararası Hematoloji-Onkoloji Dergisi, 15(4): 212-218.
- Jacobs, J., 2007. Ecology and management of common St. Johnswort (*Hypericum perforatum* L.). US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Montana.
- Karalija, E., Dahija, S., Tarkowski, P., Zeljkovic, S. C., 2022. Influence of climate-related environmental stresses on economically important essential oils of Mediterranean *Salvia* sp. Frontiers in Plant Science, 13: 864807.
- Kıyan, H.T., 2010. Bazı *Hypericum* türlerinin uçucu yağ bileşimleri ve antianjiyojenik aktiviteleri. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Lotočka, B., Osinska, E., 2010. Shoot anatomy and secretory structures in *Hypericum* species (*Hypericaceae*). Botanical Journal of the Linnean Society, 163(1): 70-86.
- Mockute, D., Bernotiene, G., Judzentiene, A., 2003. Volatile compounds of the aerial parts of wild St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) plants. Chemija, 14(2): 108-111.
- Moleriu, L., Jianu, C., Bujanca, G., Doros, G., Misca, C., Ilie, O. C., Ilie, A. C., 2017. Essential oil of *Hypericum perforatum* the chemical composition and antimicrobial activity. Revista de Chimie, 68(4): 687-692.
- Morshedloo, M.R., Ebadi, A., Maggi, F., Fattahi, R., Yazdani, D., Jafari, M., 2015. Chemical characterization of the essential oil compositions from Iranian populations of *Hypericum perforatum* L. Industrial Crops and Products, 76: 565-573. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.033>
- Nobakht, S.Z., Akaberi, M., Mohammadpour, A.H., Moghadam, A. T., Emami, S.A., 2022. *Hypericum perforatum*: Traditional uses, clinical trials, and drug interactions. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 25(9): 1045. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2022.65112.14338>.
- Nogueira, T., Duarte, F., Venancio, F., Tavares, R., Lousã, M., Bicchi, C., Rubiolo, P., 1998. Chemotaxonomic aspects of the genus *Hypericum* L. in Portugal. Silva Lusitana, 6(1): 55-61.
- Özderin, S., Fakir, H., Erbaş, S., 2011. Determination on essential oil rate and composition of some *Hypericum* species in Muğla-Ula Province. 2nd International Non Wood Products Symposium, 8-10 September, Isparta, pp. 78-84.
- Pavlovic, M., Tzakou, O.L.G.A., Petrakis, P.V., Couladis, M., 2006. The essential oil of *Hypericum perforatum* L., *Hypericum tetrapterum* Fries and *Hypericum olympicum* L. growing in Greece. Flavour and Fragrance Journal, 21(1): 84-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ffj.1521>
- Petrakis, P.V., Couladis, M., Roussis, V., 2005. A method for detecting the biosystematic significance of the essential oil composition: The case of five Hellenic *Hypericum* L. species. Biochemical Systematics and Ecology, 33(9): 873-898.
- Pintore, G., Chessa, M., Boatto, G., Cerri, R., Usai, M., Tirillini, B., 2005. Essential oil composition of *Hypericum perforatum* L. var. *angustifolium* DC growing wild in Sardinia (Italy). Journal of Essential Oil Research, 17(5): 533-535.
- Radusiene, J., Judzentiene, A., Bernotiene, G., 2005. Essential oil composition and variability of *Hypericum perforatum* L. growing in Lithuania. Biochemical Systematics and Ecology, 33(2): 113-124.
- Rios, J.L., 2016. Essential Oils: What they are and how the terms are used and defined. Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety (Ed., Preedy, V.R.), Academic Press, London, pp. 3-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00001-8>
- Risticjevic, S., Lord, H., Gorecki, T., Arthur, C.L., Pawliszyn, J., 2010. Protocol for solid-phase microextraction method development. Nature Protocols 5(1): 122-139.
- Saddiqe, Z., Naeem, I., Maimoona, A., 2010. A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. Journal of Ethnopharmacology, 131(3): 511-521. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.07.034>
- Schwob, I., Bessiere, J. M., Viano, J., 2002. Composition of the essential oils of *Hypericum perforatum* L. from southeastern France. Comptes rendus. Biologies, 325(7): 781-785. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1631-0691\(02\)01489-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1631-0691(02)01489-0)
- Seyis, F., Yurteri, E., Özcan, A., Cirak, C., 2020. Altitudinal impacts on chemical content and composition of *Hypericum perforatum*, a prominent medicinal herb. South African Journal of Botany, 135: 391-403. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.034>
- Silva, B.A., Ferreres, F., Malva, J.O., Dias, A.C., 2005. Phytochemical and antioxidant characterization of *Hypericum perforatum* alcoholic extracts. Food Chemistry, 90(1-2): 157-167. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.049>
- Sharopov, F.S., Gulmurodov, I.S., Setzer, W.N., 2010. Essential oil composition of *Hypericum perforatum* L. and *Hypericum scabrum* L. growing wild in Tajikistan. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2(6): 284-90.
- Smelcerovic, A., Spitteller, M., Ligon, A.P., Smelcerovic, Z., Raabe, N., 2007. Essential oil composition of *Hypericum* L. species from Southeastern Serbia and their chemotaxonomy. Biochemical Systematics and Ecology, 35(2): 99-113.
- Sönmez, S., 2006. Sultandağı (Afyon) ilçesinin coğrafi etüdü. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Tongnuanchan, P., Benjakul, S., 2014. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. Journal of Food Science, 79(7): R1231-R1249. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12492>
- Touafek, O., Nacer, A., Kabouche, A., Kabouche, Z., 2005. Analysis of the essential oil of Algerian *Hypericum perforatum* (L). Flavour and Fragrance Journal, 20(6): 669-670. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>

- Turek, C., Stintzing, F.C., 2013. Stability of essential oils: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1): 40-53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>
- Vichi, S., Castellote, A.I., Pizzale, L., Conte, L.S., Buxaderas, S., Lopez-Tamames, E., 2003. Analysis of virgin olive oil volatile compounds by headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography with mass spectrometric and flame ionization detection. *Journal of Chromatography A*, 983(1-2): 19-33.
- Weyerstahl, P., Splittgerber, U., Marschall, H., Kaul, V.K., 1995. Constituents of the leaf essential oil of *Hypericum perforatum* L. from India. *Flavour and Fragrance Journal*, 10(6): 365-370.
- Xenophontos, M., Stavropoulos, I., Avramakis, E., Navakoudis, E., Dörnemann, D., Kotzabasis, K., 2008. Influence of the habitat altitude on the (proto) hypericin and (proto) pseudohypericin levels of *Hypericum* plants from Crete. *Planta medica*, 74(12): 1496-1503.
- Yıldırım, B., Terzioğlu, Ö., Okut, N., Ekici, K., Özgökçe, F., 2009. Kantaron (*Hypericum perforatum* L.) bitkisinin farklı gelişme dönemlerinde uçucu yağ içeriğinin belirlenmesi. *Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi*, 19-22 Ekim, Hatay, s. 326-329.
- Yılmazoğlu, E., Metin Hasdemir, İ., Hasdemir, B., Yaşa, H., 2023. Investigation of essential oil composition, hypericin content, and antioxidant capacity of different extracts from flowers and leaves of *Hypericum perforatum* L. growing wild in Turkey. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 26(6): 1350-1370.

Examination of wastewater generated in wood drying kilns

Muhammed Enes Tepedelen^a, Uğur Özkan^a, Halil Turgut Şahin^{a,*}

Abstract: In this study, the physical treatment of wastewater obtained during the kiln drying of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood in a timber processing plant in Isparta was investigated by centrifugation technique. The wastewater samples were centrifuged at 1000 rpm (constant speed) for 2 to 10 minutes of duration, and some selected wastewater evaluation parameters such as pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), suspended solids (SS), dissolved oxygen (DO), and turbidity (NTU) were analyzed. Also, the data obtained were statistically analyzed at 95% confidence level. When significant differences were identified, Duncan's multiple range test was applied to evaluate the homogeneity of mean values across the groups. The results showed that centrifugation caused a significant reduction in turbidity and suspended solids. It was calculated for the turbidity, decreased from 31.49 NTU to 14.60 NTU, and the suspended solids content decreased by 71%, from 38 mg/L to 11 mg/L. However, no significant change was observed in pH, EC, and TDS values. Additionally, the color analysis of the water revealed that centrifugation had a measurable effect on the total color difference (ΔE). This study concludes that while centrifugation is effective in reducing physical pollution of waste waters, it causes not noticeable changes in the chemical composition, providing useful data for future similar wastewater treatment research.

Keywords: Wastewater treatment, Centrifugation, Calabrian pine, Wood kiln drying

Ahşap kurutma fırınlarında oluşan atık suların incelenmesi

Öz: Bu çalışmada, Isparta'daki bir kereste işleme tesisinde kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) odunlarının fırın kurutma sırasında oluşan atık suyun fiziksel arıtımı santrifüjleme tekniği ile incelenmiştir. Atık su örnekleri 1000 rpm (sabit hız) hızında 2 ila 10 dakika süreyle santrifüje tabi tutulmuş ve bazı seçilmiş atık su değerlendirme parametreleri; pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözülmüş katılar (TDS), askıda katılar (SS), çözülmüş oksijen (DO) ve bulanıklık (NTU) analiz edilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Anlamlı farklılıklar tespit edildiğinde gruplar arasındaki ortalama değerlerin homojenliğini değerlendirmek için Duncan testi uygulanmıştır. Sonuçlar, santrifüjlemenin bulanıklık ve askıda katılar üzerinde önemli bir azalma sağladığını göstermiştir. Bulanıklığın 31,49 NTU'dan 14,60 NTU'ya düştüğü, askıda katı içeriğinin ise %71 oranında azalarak 38 mg/L'den 11 mg/L'ye düştüğü hesaplanmıştır. Ancak pH, EC ve TDS değerlerinde anlamlı bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Ayrıca, suyun renk analizi santrifüjlemenin toplam renk farkı (ΔE) üzerinde ölçülebilir bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, santrifüjlemenin atık suların fiziksel kirliliğini azaltmada etkili olduğunu ancak kimyasal bileşimde belirgin bir değişiklik sağlamadığını, bu durumun gelecekteki benzer atık su arıtma araştırmaları için faydalı veriler sunduğu sonucuna varılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Atık su giderimi, Santrifüj, Kızılçam, Ahşap fırın kurutma

1. Introduction

As is known, the main structure of wood material consists of 95-99% cellulose, hemicellulose, and lignin. A much smaller portion (1-5%) consists of extractive substances that give their color, scent, and many other aesthetic and technological properties. Despite their low quantities, wood extractives are studied under various categories due to their diverse properties (Fengel and Wegener, 1984; Bowyer et al., 2003; FPL, 2010). For this reason, many chemical substances can be used for the isolation of extractive materials, and single or multi-step processes can be applied. In its simplest form, extractive substances can be classified as water-soluble (in hot or cold water), volatile in air, or soluble in different solvents such as oils, acetone, or alcohols. More detailed information on the detection, isolation, chemical properties, classification, and usage possibilities of extractive substances from wood material can be found in other sources in the literature (Fengel and Wegener, 1984).

Wood drying, in its simplest form, can be defined as the process of removing excess water from wood structure to bring it to a moisture level suitable for use. Many advantages can be obtained by drying wood (Kantay, 1993). These advantages generally include preventing the wood from decaying due to fungal attack, reducing the wood's moisture absorption and release, making the wood easier to machining (planing, milling, cutting, carving, etc.), improving adhesion in gluing, and enhancing the success of protective surface treatments. However, wood can generally be dried either naturally in atmospheric conditions (natural drying) or in controlled kilns (technical drying) (Kantay, 1993). Due to the much shorter drying time and other advantages, technical drying has largely replaced natural drying in modern times. The most common drying methods within technical drying applications are conventional, condensation, and vacuum drying methods. The technical drying process is carried out in specially designed kilns. Depending on plant size or economic considerations, these kilns are managed in various

* Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Isparta, Türkiye

* Corresponding author (İletişim yazarı): halilsahin@isparta.edu.tr

Received (Geliş tarihi): 13.09.2024, Accepted (Kabul tarihi): 19.11.2024



Citation (Atıf): Tepedelen, M.E., Özkan, U., Şahin, H.T., 2024. Examination of wastewater generated in wood drying kilns. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 506-513. DOI: [10.18182/tjf.1549454](https://doi.org/10.18182/tjf.1549454)

ways, such as simple, semi-automatic, or fully automatic. Drying programs are used to manage and adjust drying conditions as required. Kiln drying programs are specially designed based on wood type, moisture content or drying time (Kantay, 1993; FPL, 2010). It is important to note that in any modern kiln drying process, there are four periods under different conditions. These are the heating, drying, equalization, and cooling periods. The drying parameters such as temperatures and durations of this period vary depending on the wood species (specific gravity) and lumber thickness.

The wastewater released during wood kiln drying, especially from heating/steaming operations, may contain many toxic organic and inorganic compounds that generated from wood. It is well established that the water and heat-sensitive compounds in wood can dissolve when contact with steam or water and cause the formation of dangerous and toxic compounds (Bowyer et al., 2003; Fengel and Wegener, 1984). However, the wastewater generated during the kiln drying of wood is usually discharged directly into the environment without any treatment. Moreover, the pollution characteristics and chemical content of these waters have not been properly evaluated. If the pollution characteristics of these waters can be analyzed, it may provide insights into the potential effects of wastewater generated from the kiln drying of different tree species on the natural ecological balance and human health. In this regard, there is a need to identify the contents of those wastewaters and apply effective treatment methods.

In general, numerous parameters and techniques are used in the treatment and testing of wastewaters, but the most fundamental parameters recommended for analyzing wastewater from industrial production facilities include pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), oxidation-reduction potential (ORP), suspended solids (SS), biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), turbidity, color measurement, and dissolved oxygen (DO) (Şengül and Türkman, 1998; Cırık et al., 2013; Sawyer et al., 2020).

In this study, the primary characteristics of wastewater generated by the kiln-drying facility of a medium-sized sawmill were investigated in detail, based on the assumption that certain extractive substances, soluble in both hot and cold water, could contribute to environmental pollution. The main objective of the research was to determine whether these wastewater effluents, when discharged into the environment without any additional treatment, possess pollutant characteristics, by measuring various water quality parameters. In this context, the analysis of the potential pollutant nature of the water aimed to identify the presence of compounds that could negatively impact the environment.

To achieve this, wastewater samples were collected from a medium-sized sawmill in Isparta, which is equipped with a technical drying facility, following the drying process of Calabrian pine. Since the drying process is a phase where extractive substances leach into the water, the wastewater samples were collected during different stages of the drying process and analyzed. The wastewater samples were then subjected to centrifugation, followed by essential water quality measurements to determine their pollutant properties.

As a result, this research aims to better understand the potential environmental hazards of wastewater from sawmills and to identify the necessary measures for managing these effects. By measuring various fundamental parameters and

analyzing the pollutant nature of the water, the study seeks to provide a clearer understanding of the potential environmental impacts of these wastewater discharges. Furthermore, determining effective treatment techniques for managing such wastewater is an important step towards supporting sustainable industrial practices.

2. Materials and methods

2.1. Collection of wastewaters from a technical wood drying facility and centrifugation process

The material used in this study is wastewater generated during the drying procedure of pine lumber in the kiln of a medium-sized softwood lumber (mainly Calabrian pine) processing facility (lumber, parquet, paneling, etc.) located in Isparta. This wastewater, which is generally released into the environment without any treatment, was collected from the plant in March 2024 following standard procedures, and standard physicochemical analyses were conducted. Prior to analysis, the wastewater was subjected to centrifugation at constant speed (1000 rpm) for five different durations (2, 4, 6, 8 and 10 minutes) at intervals of 2 minutes to physical reduction pollutants. The centrifugation process was carried out using a laboratory centrifuge (Medwelt 800 D China) with a tube capacity of 20 mL (Özkan and Şahin, 2023). After centrifugation, the quality parameters of the wastewater were measured according to internationally accepted standards.

2.2. Tests and measurements applied to wastewater

2.2.1. pH measurements of water samples

The pH value is important for understanding the general characteristics of polluted wastewater. In chemical processes, the pH of the environment affects the ability of pollutants to precipitate, while in biological processes, it influences the activity of organisms. pH measurements were carried out using a multiparameter water analysis instrument, Apera PC5 (Wuppertal, Germany), which was calibrated before each measurement according to standard measurement methods.

2.2.2. Electrical conductivity (EC) Measurements of water samples

Electrical conductivity (EC) is a numerical value used to determine a solution's ability to conduct electricity, providing information about the mineral or other substance content in the solution. In general, EC indicates the total and relative concentrations, mobility, and valence of ions in the water, as well as the temperature at which the measurement is taken. EC measurements were performed using the Apera PC5 multiparameter water analysis device (Wuppertal, Germany), calibrated according to standard measurement methods before each measurement. Measurements for each sample were made in 10 repetitions. The results are given by averaging the measurements.

2.2.3. Total dissolved solids (TDS) measurements of water samples

TDS (Total Dissolved Solids) represent both dissolved and suspended solids in the samples. The formula is given in Equation (1):

$$TS \text{ (Total Solids)} - TSS \text{ (Total Suspended Solids)} \quad (1)$$

However, as shown in Equation (2), TDS is typically related to EC (Electrical Conductivity) and is used to evaluate the ion load and pollution in water.

$$TDS \text{ (mg/L)} = EC \text{ (Conductivity)} \times (0.55 - 0.70) \quad (2)$$

This relationship with EC is commonly used (Sawyer et al., 2020). TDS measurements were performed using the Apera PC5 multiparameter water analysis device (Wuppertal, Germany), calibrated before each measurement in accordance with standard measurement methods. Measurements for each sample were made in 10 repetitions. The results are given by averaging the measurements.

2.2.4. Oxidation-reduction potential (ORP) measurements of water samples

The Oxidation-Reduction Potential (ORP) is a measure of a substance's ability to oxidize or reduce another substance. Positive ORP indicates that the substance is an oxidizing agent, while negative ORP suggests that the substance is a reducing agent (Sawyer et al., 2020). ORP measurements of the water samples were performed using a multiparameter water analysis device (Jinan Huiquan Electronic Co., Ltd, China). Calibration of the device was conducted before each measurement. Measurements for each sample were made in 10 repetitions. The results are given by averaging the measurements.

2.2.5. Suspended solids (SS) measurements of water samples

Suspended solids (SS) values of the samples were calculated using the standard method (APHA, 2005). According to the 2540 D method, Whatman GF/C glass fiber filter papers were dried for 60 minutes at 103-105°C, then placed in a desiccator for 60 minutes. The initial weights of the samples were measured using a precision scale. The filter papers were then placed in a filtration apparatus, and vacuum was applied. The filters were washed three times with 20 ml of distilled water each time. Afterward, 100 ml of the sample was filtered, and the filter was removed with tweezers, dried again for 60 minutes at 103-105°C, placed in a desiccator to cool, and weighed. Finally, the SS values were calculated using the following equation (3):

$$\text{Suspended Solids (SS): } (A - B) \times 1000 / \text{mL sample} \quad (3)$$

A: Weight of the filter and retained solids (mg), B: Weight of the filter (mg)

2.2.6. Color measurements of water samples

Using the CIE Lab* 1976 standard (Commission Internationale d'Éclairage), the brightness/darkness (L^*), redness/greenness (a^*), yellowness/blueness (b^*), and total

color difference (ΔE_{ab}) of the water samples were automatically calculated using the following equation (4):

$$\Delta E_{ab}: \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4)$$

In these equations: L represents the brightness/darkness level (ranging from 0 to 100, where a lower number indicates more darkness, 0 being black, and 100 being perfect white). a represents the redness (a^+)/greenness (a^-) level. b represents the yellowness (b^+)/blueness (b^-) level. ΔE represents the total color difference, which is a combination of all these factors. All the calculations described above were performed automatically using an X-Rite 962 spectrophotometer (Grand Rapids, Michigan) with a 10° observer angle and daylight illumination of 6500 Kelvin (D65).

2.2.7. Turbidity measurements of water samples

Turbidity in water can be caused by various organic and inorganic substances, either dissolved or suspended. This provides information about the cloudiness or contamination of the water based on how much light is blocked or scattered when passing through the water. However, some wastewater treatment process such as coagulation, sedimentation, and filtration processes can significantly reduce turbidity (Alley, 2000; Cırık et al., 2013; Sawyer et al., 2020).

The turbidity of water is measured in NTU (Nephelometric Turbidity Units) as per the standards set by the EPA and the World Health Organization (WHO). Turbidity is generally measured using the nephelometric technique, in which a light source illuminates the sample, and the intensity of light scattered at a 90 angle is measured to determine the turbidity (Cırık et al., 2013; Sawyer et al., 2020). In this study, the turbidity properties of both control and centrifuged samples were measured according to the ISO 7027 standard, with six measurements taken from each sample group. The turbidity measurements were carried out using a Hanna HI 93703 turbidity meter (Woonsocket, USA) (Kardeş et al., 2024).

2.2.8. Dissolved oxygen (DO) measurements of water samples

The dissolved oxygen content of the wastewater sample allocated for qualitative analysis was measured. This serves as an indicator of the oxygen level in the wastewater and, therefore, its quality. The dissolved oxygen measurements were performed using a HACH dissolved oxygen meter (Pocket Colorimeter II), which is an important parameter for evaluating the environmental impact of wastewater and the effectiveness of treatment processes (Özkan et al., 2024).

2.2.9. FT-IR analysis of water samples

Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy plays an important role in detecting chemical components in wastewater. This analytical technique is particularly effective in identifying a wide range of organic and inorganic components, including proteins, lipids, carbohydrates, phenols, and other pollutants. By measuring the absorption of infrared light at characteristic frequencies for each molecular vibration in the sample, FT-IR enables the identification of chemical bonds and functional groups.

FT-IR measurements were conducted with a wavelength range of 400-4000 cm^{-1} , and spectra were recorded at a resolution of 4 cm^{-1} .

2.2.10. Statistical analysis

The collected data were analyzed using IBM SPSS Statistics 22 software with a 95% confidence interval. To assess potential differences among the groups, a one-way analysis of variance (ANOVA) was performed. When significant differences were identified, Duncan's multiple range test was applied to evaluate the homogeneity of mean values across the groups.

3. Results

3.1. pH Properties of water samples

The pH properties of the water samples, an essential parameter for understanding their general chemical characteristics, were first measured. Table 1 provides a comparison of the pH values determined for water samples subjected to centrifugation at intervals of 2 minutes for a total of five different durations (2, 4, 6, 8, and 10 minutes) at constant speed (1000 rpm). The control sample's pH value was measured as 11.05. The highest pH value of 11.25 was observed in the sample centrifuged for 2 minutes, while the lowest of 11.01, was measured in the sample centrifuged for 10 minutes. The difference between the highest and lowest pH values was only 0.24. Since centrifugation is a physical separation technique, no major changes in the pH levels were observed, and only very slight variations were recorded. This situation was considered normal due to the presence of various foreign substances in the water samples and the non-selective nature of the centrifugation process for a specific group of substances. Therefore, it can be reasonable to conclude that the pH values of the water samples showed insignificant changes within very small ranges and theoretically the centrifugation process had no significant effect on the pH values of the water samples.

3.2. Electrical conductivity (EC) properties of water samples

Table 1 provides a comparison of the EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) values measured for the water samples. It was observed that the EC values of the centrifuged water samples were lower than those of the control sample. The highest EC value was 5829 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the control sample, while the lowest was 5124 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in the sample centrifuged for 4 minutes. The difference between the highest and lowest EC values was 705 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This indicates that, as expected, the centrifugation process caused the precipitation of ions or pollutants in suspension to some extent. However, no trend or relationship was found between centrifugation time and the measured EC values.

3.3. Total dissolved solids (TDS) properties of water samples

The TDS values measured after five different centrifugation durations are shown in Table 1. Like EC, it was determined that the TDS values of all centrifuged samples were lower than those of the control sample. The highest TDS value was 2910 ppm in the control sample, while the lowest was 2531 ppm in the sample centrifuged for 4 minutes. The

difference between the highest and lowest TDS values was 379 ppm. Like EC, it can be concluded that the centrifugation process caused the precipitation of pollutants in suspension to some extent. However, no trend or relationship was found between centrifugation time and the measured TDS values.

3.4. Oxidation-reduction potential (ORP) properties of water samples

The oxidation-reduction potential (ORP) is important for determining the quality of water. A high positive ORP value indicates that the water has oxidizing properties, meaning it can cause rust and decay, while a negative ORP value suggests that the water has reducing properties, meaning it has antioxidant power and can prevent rusting (Cırık et al., 2013; Sawyer et al., 2020). In this study, all the wastewater samples had positive ORP values. Like EC and TDS, the ORP values of the centrifuged samples were higher than those of the control sample (control: 30.7 mV), ranging from 3.6 mV (2-minute centrifuged sample) to 17.9 mV (4-minute centrifuged sample). These higher ORP values, compared to the control sample, suggest that the centrifugation process was not effective in reducing chemical pollution.

3.5. Dissolved oxygen (DO) properties of water samples

Dissolved oxygen (DO), one of the essential requirements for aquatic life, is an important water quality variable included in the classification of surface water resources under the Surface Water Quality Management Regulation (YSKY, 2012). Dissolved oxygen is a measure of the amount of oxygen gas present in water. In general, clean drinking water at 1 atm pressure and 20°C can contain up to 14.6 mg/L of dissolved oxygen. As factors such as water stagnation, depth, temperature, and the presence of minerals and pollutants increase, the amount of dissolved oxygen decreases. When organic pollutants are present in water, microorganisms break them down through a process called decomposition, which consumes dissolved oxygen and leads to lower oxygen levels. The solubility of oxygen in water also decreases as water temperature increases. The classification is as follows: Class I water > 8 mg/L, Class II: 6 mg/L, and Class III: < 6 mg/L. In general, healthy water should have a dissolved oxygen level of 6.5-8 mg/L or higher. Water with dissolved oxygen levels less than 2 mg/L is considered hypoxic (oxygen-deficient), and water with 1 mg/L or less is defined as "devoid of life," meaning aquatic organisms cannot survive in such conditions (Rounds et al., 2006).

Table 1. Basic Properties of Water Samples

Time (minute)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	ORP (mV)
0	11.05 (A)	5829 (C)	2910 (D)	30.7 (A)
2 min.	11.25 (C)	5255 (A)	2626 (B)	34.3 (A)
4 min.	11.03 (A)	5124 (A)	2561 (A)	48.6 (D)
6 min.	11.21 (C)	5411 (B)	2702 (C)	40.1 (B)
8 min.	11.11 (B)	5305 (B)	2649 (B)	43.10 (C)
10 min.	11.01 (A)	5160 (A)	2578 (A)	43.90 (C)

*Letters in parentheses indicate group differences between Duncan Homogeneity Groups

When examining Figure 1, the dissolved oxygen level of the control water sample was measured at 3.46 mg/L. The dissolved oxygen levels of all centrifuged water samples were lower than the control, ranging from 2.43 mg/L to 2.82 mg/L. From this, it is understood that the centrifugation process did not result in an increase but rather a decrease in dissolved oxygen levels. However, in any case, the dissolved oxygen levels of the water samples were found to be very low. Using the dissolved oxygen values of the samples, it is difficult to draw a definitive conclusion regarding the change in pollution characteristics caused by centrifugation.

3.6. Turbidity properties of water samples

Turbidity in water can be caused by various organic and inorganic substances, either dissolved or suspended. This provides information about the cloudiness or contamination of the water based on how much light is blocked or scattered when passing through the water. However, some wastewater treatment process such as coagulation, sedimentation, and filtration processes can significantly reduce turbidity (Alley, 2000; Cırık et al., 2013; Sawyer et al., 2020).

The turbidity values of the control sample and samples subjected to the standard centrifugation procedure for five different durations are shown comparatively in Figure 2. The turbidity value of the untreated raw control water sample was measured at 31.49 NTU. It was observed that the turbidity values of the samples decreased consistently with increasing centrifugation time. The lowest turbidity value, 14.60 NTU, was recorded in the sample that underwent centrifugation for 10 minutes. As expected, significant reductions in turbidity values were calculated, ranging from 31.9% to 53.6%, because of the centrifugation process.

3.7. Suspended solids (SS) properties of water samples

Foreign substances that cause water pollution are the main factors that make water appear turbid or dirty, and particles larger than 1µm in diameter can generally be filtered out. Suspended solids (SS) are an important parameter developed to explain the degree of pollution in water. Figure 4 shows the measured SS values of the water samples, presented comparatively. The SS value of the control sample was measured as 38 mg/L. As seen in Figure 3, there is a positive correlation between centrifugation time and the reduction of SS. The lowest SS value, 11 mg/L, was recorded in the sample centrifuged for 10 minutes, which is significant as it indicates approximately 71% lower SS compared to the control sample.

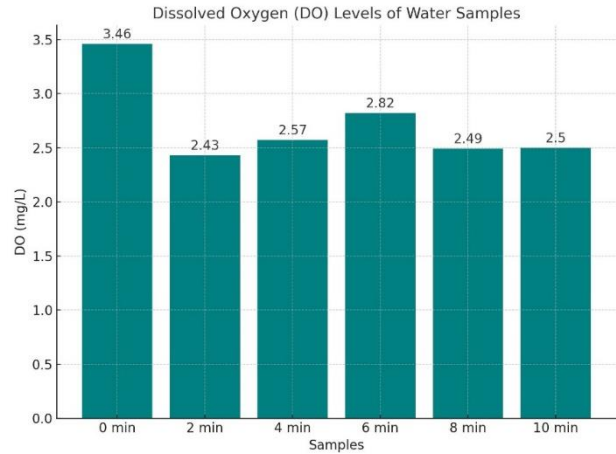


Figure 1. Dissolved Oxygen (DO) Properties of Water Samples

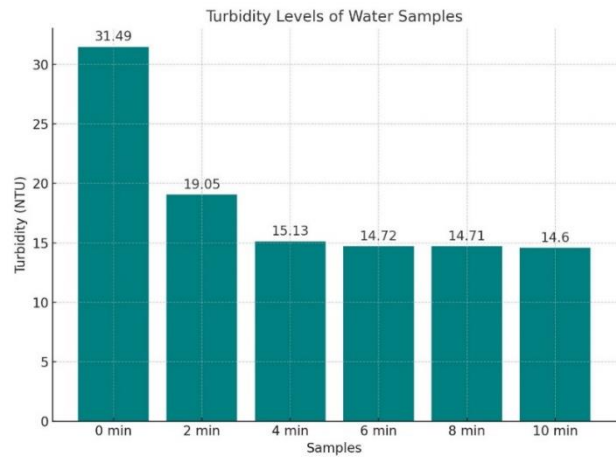


Figure 2. Turbidity Properties of Water Samples

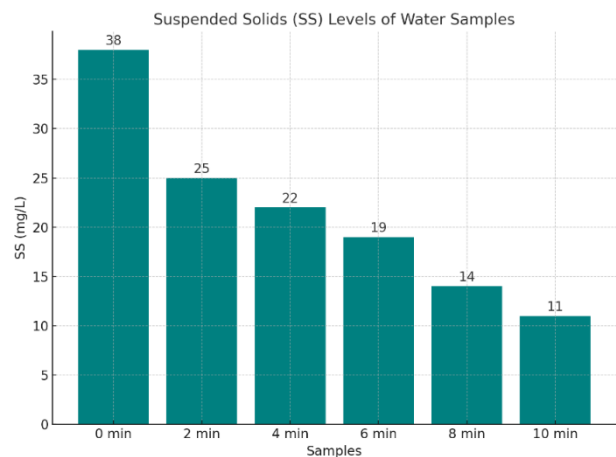


Figure 3. Suspended Solids (SS) Properties of Water Samples

3.8. Color properties of water samples

In general, water is colorless if no foreign substances are present. The presence of organic or inorganic foreign materials, along with biological activities (such as bacteria, fungi, etc.), can cause the water to change color. Wood contains many extractive, color-giving substances that can dissolve even in cold water. Therefore, when wood encounters water or steam, these color-giving substances can be released into the water, changing its color. Since the water used in this study was collected from a kiln drying facility which hot water (steam) has used to operate, it was observed that the water had a color characteristic. It is important to note that the color of water and its turbidity are different concepts and should not be confused. For example, water may be dark in color but not turbid (Sawyer et al., 2020).

There may be specific circumstances for measuring watercolor in each industry, and a method suitable for one sector may not be appropriate for another. Therefore, it is challenging to determine the color of wastewater from different industrial processes using a single parameter (Polat, 2018; Hach-Lange, 2023). As a result, several color measurement methods have been developed for different industries based on the characteristics of the water being measured. Examples of color measurement methods used for liquids include the Hazen (Pt-Co) color scale, (APHA3-method or platinum-cobalt), Gardner color scale, Iodine color scale (DIN 6162), Lovibond color system, Tristimulus colorimeter and CIE Lab* (Hach-Lange, 2023).

In this study, the CIE Lab* (1976) method, widely used for measuring the color of solid and liquid materials, was employed to determine the color properties of the water samples. The measured values are presented comparatively in Table 2. The brightness (L*) values of the water samples ranged from 25.11 (metric) for the sample centrifuged for 9 minutes to 34.92 (metric) for the sample centrifuged for 1 minute. Considering the L* value of the control sample was 28.31 (metric), it can be suggested that there is no relationship between centrifugation and the L* value.

When examining the redness-greenness values (a*) of the water samples, it was found that the sample centrifuged for the longest duration had an a* value of 10.18 (metric), which is approximately 2.92 units less redness compared to the control sample. The highest a* value, 21.84 (metric), was measured in the sample subjected to centrifugation for 6 minutes, which is approximately 8.74 units redder than the control sample. Like brightness, no clear trend or relationship was observed between centrifugation time and the a* values of the samples.

When the yellowness-blueness values (b*) of the water samples were examined, it was found that all centrifuged samples had b* difference values between 0.66 and 4.44 units lower than the control sample, indicating that the color of the water shifted from yellow toward blue to some extent. The lowest b* value, 5.64 (metric), was measured in the sample centrifuged for 7.0 minutes, while the highest b* value, 10.08 (metric), was observed in the control sample.

Table 2. Color properties (CIE L*a*b*) of water samples

Time (minute)	L*	a*	b*
0	28.31 (b)	13.10 (b)	10.08 (f)
1 min.	34.92 (d)	15.26 (c)	9.42 (e)
2 min.	32.86 (c)	16.08 (d)	8.34 (d)
3 min.	25.81 (a)	17.01 (d)	5.83 (a)
4 min.	34.59 (d)	12.49 (b)	6.37 (b)
5 min.	31.56 (c)	18.42 (d)	6.73 (b)
6 min.	31.88 (c)	21.84 (e)	7.47 (c)
7 min.	32.15 (c)	21.76 (e)	5.64 (a)
8 min.	27.31 (b)	13.25 (b)	6.75 (b)
9 min.	25.11 (a)	13.32 (b)	9.20 (e)
10 min.	27.98 (b)	10.18 (a)	8.87(d)

*Letters in parentheses indicate group differences between Duncan Homogeneity Groups

The relationship between each CIE color coordinate parameter (L*a*b*) and centrifugation time is illustrated in Figure 4. Upon examining the graphs in Figure 4, it was observed that there was a very low correlation between L* and centrifugation time (R²: 0.3071). There was a higher, but still relatively low, correlation between a* and centrifugation time (R²: 0.4461). Interestingly, a moderate correlation was found between the b* color parameter and centrifugation time (R²: 0.7455).

In the literature, many reports suggest that it is more appropriate to analyze the color properties of materials and identify differences between them by reducing the three main color parameters (Lab*) to a single mathematical value, known as the total color difference (ΔE). In our study, using the basic values provided in Table 2, the color differences (total color difference, ΔE) of the water samples were calculated in comparison to the control sample and are shown in Figure 6.

As seen in Figure 5, the highest color difference compared to the control sample was 10.46 (metric) in the sample centrifuged for 7.0 minutes, followed by 10.06 (metric) in the sample centrifuged for 9.0 minutes, and 9.8 (metric) in the sample centrifuged for 6.0 minutes. The lowest color difference, 3.18 (metric), was calculated for the sample centrifuged for the longest duration (10 minutes). Based on the data presented, it can be concluded that centrifugation can affect the color difference or color reduction in colored/contaminated water samples, but establishing a clear relationship between centrifugation duration and the color values of the samples appeared to be very complex.

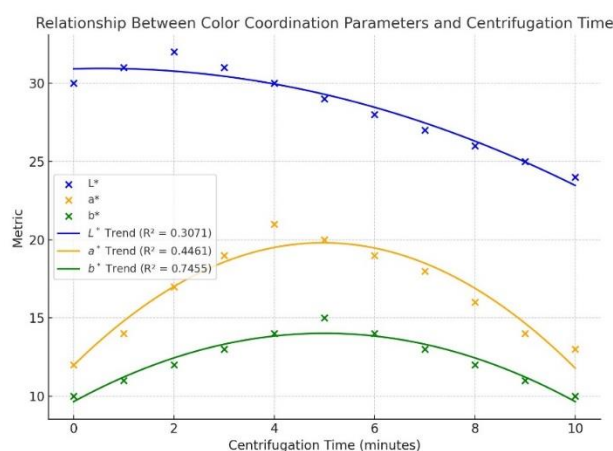


Figure 4. The Relationship Between Color Coordination Parameters and Centrifugation for Water Samples

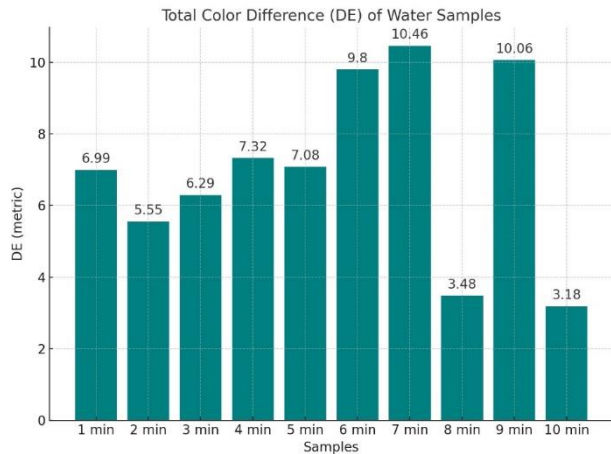


Figure 5. Total Color Differences (ΔE) of Water Samples Compared to the Control Sample

3.9. FTIR analysis of water samples

Figure 6 presents a comparison of the FTIR spectra of the control sample and the water sample with the lowest turbidity (centrifuged for 10 minutes). In wastewater generated during the artificial drying of pine wood, it is generally expected to find small-molecule carbohydrates, glucosides, and polysaccharides degraded by heat (Fengel and Wegener, 1984). The peak regions in the FTIR spectra of lignocellulosic materials (wood) have been studied by many researchers (Yilgor et al., 2013; Ceylan and Pekgözlü, 2019). Upon examining the spectra in Figure 6, no significant difference was observed between the spectra of the control and the sample centrifuged for 10 minutes. In both spectra, aromatic C-C bonds ($1515\text{-}1605\text{ cm}^{-1}$), C=O bonds ($1660\text{-}1710\text{ cm}^{-1}$), and aliphatic and phenolic O-H bonds ($3450\text{-}3400\text{ cm}^{-1}$) were distinctly observed. Only minor changes were detected in some small peaks in the $1980\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ wavelength range, with slight increases or decreases in intensity.

This region generally corresponds to the O-H stretching region (2500 cm^{-1}) and the symmetric carboxylic compound region ($2000\text{-}1990\text{ cm}^{-1}$) in organic compounds. This result is considered normal, as no chemical treatment was applied only physical centrifugation was used to precipitate some of the suspended compounds in the wastewater, without removing them from the environment. This finding is consistent with the SS (Suspended Solids) results explained in Figure 3.

4. Discussion and conclusion

In this study, the basic properties of wastewater obtained from a medium-sized Calabrian pine lumber kiln processed plant were evaluated. Additionally, the effect of centrifugation (at a constant rotational speed of 1000 rpm) on the pollution properties of the water samples was examined comparatively, based on the duration of centrifugation. Thus, the properties of the water were analyzed after the pollutants in suspension were precipitated through centrifugation. The water samples were visibly colored and turbidity, primarily due to colloidal wood compounds (degraded/short-chain carbohydrates, polysaccharides) that dissolved into the water during the drying process.

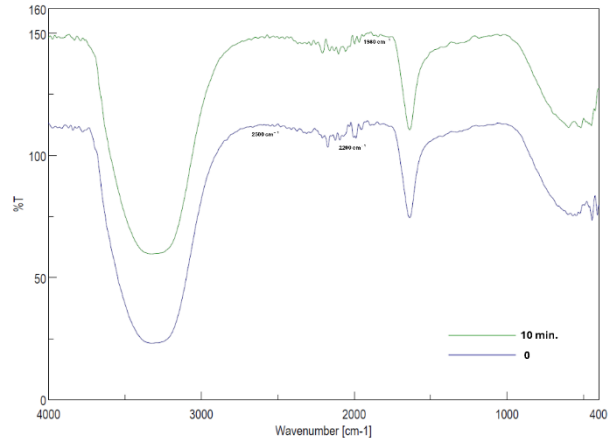


Figure 6. FTIR Spectra of Water Samples (0: control, 10 min.: sample centrifuged for 10 minutes)

Centrifugation is fundamentally based on the principle of separating particles in a suspension based on their shape, size, and density using the centrifugal force generated by circular rotational motion. The rotational speed of the centrifuge, measured in RPM (Revolutions Per Minute), directly influences the settling of solid particles. As such, the movements induced by the rotational speed must result in a centrifugal force greater than the gravitational acceleration (9.81 m/s^2). It has been observed that as both the centrifugation time and rotational speed increase, the solid particles settle more rapidly.

In general, improvements or adjustments were observed in key pollution parameters (EC, TDS, ORP) of the water samples, which were assumed to contain pollutants derived from water-soluble extractive substances in the wood during the kiln drying of pine lumber. However, no clear trend was identified between the centrifugation duration and changes in these parameters. This is understandable since centrifugation is a physical separation process, and the chemistry of the water did not change significantly after the suspended pollutants were precipitated (as evidenced by the marginally close pH values of the samples), suggesting that the obtained values were meaningful. As expected, it was found that the turbidity and suspended solids (SS) values of the water samples were closely related to the duration of centrifugation.

Although significant changes were calculated in the primary color values ($L^*a^*b^*$) and total color difference (ΔE) of the water samples compared to the control sample, no clear trend was established between centrifugation duration and the color values of the samples. However, a stronger relationship ($R^2: 0.7455$) was observed between the b^* color coordinate parameter and centrifugation duration compared to the other color parameters. When the measured color parameters ($L^*a^*b^*$) were reduced to a single variable as total color difference (ΔE) and correlated with centrifugation durations, the highest color difference ($\Delta E: 10.46$) was calculated in the sample centrifuged for 7.0 minutes, and the lowest ($\Delta E: 3.18$) in the sample centrifuged for 10 minutes. In general color measurements, if the total color difference between two objects is $\Delta E < 1.0$, it is imperceptible to the human eye; if ΔE is between 1.0 and 2.0, it can be detected through careful observation; and if $\Delta E > 3.0$, it is easily noticeable to the naked eye (Hach-Lange, 2023).

Considering the obtained data, it can be concluded that centrifugation created a noticeable difference (turbidity and

color reduction) compared to the control samples, which is visible to the naked eye. Since no chemical treatment was applied to the polluted/wastewater generated during the artificial drying of pine lumber, and only physical treatment was applied via centrifugation, no significant changes were observed in the FTIR analysis of the water samples. Upon reviewing the experimental results and the data obtained from the control samples, it can be concluded that the wastewater generated during the artificial kiln drying of pine lumber contains suspended substances and exhibits pollution characteristics, and that centrifugation is somewhat effective in reducing this pollution. It is expected that the experimental approaches selected in this study and the obtained data will serve as a basis for similar future studies on this topic.



Acknowledgements

This study has been carried out with the support of TÜBİTAK 2209-A. We would like to thank TÜBİTAK for enabling the execution of this work.

References

- Alley, E.R., 2000. Water Quality Control Handbook. McGraw Hill, Wef press, Virginia.
- APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington DC.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R., Haygreen J.G., 2003. Forest Products and Wood Science-An Introduction. Fourth edition, Iowa State University, Ames, IA.
- Ceylan, E., Pekgözlü, A.K., 2019. Utilization of *Trapa natans*. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 4(4): 688-694.
- Cırık, K., Çınar, Ö., Şahinkaya, E., Uysal, Y., Başak, S., Aydoğmuş, D., Yetiş, Ü., 2013. Boyar madde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, s: 276
- Fengel, D., Wegener, G., 1984. Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter Public, Berlin, Germany.
- FPL, 2010. Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, pp.509.
- Hach-Lange, 2023. Objective color assessment and quality control in the chemical, pharmaceutical and cosmetic industries, Application Report No. 3.14e DOC042.52.00019. Hach Lange GmbH Willstätterstraße 11 D-40549 Düsseldorf, Germany.
- Kantay, R., 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Kardeş, S., Özkan, U., Bayram, O., Şahin, H. T., 2024. An Artificial Neural Network (ANN) modelling approach for evaluating turbidity properties of paper recycling wastewater. BioResources, 19(3): 5003-5018.
- Özkan, U., Şahin, H.T., 2023. Treatment of paper recycling wastewater using microwave technology. Turkish Journal of Forestry, 24(2): 134-138.
- Özkan, U., Kardeş, S., Cambazoglu, M., Şahin, H.T., 2024. Optimization of dissolved oxygen in the removal of wastewater generated in a sawmill using response surface methodology (RSM). Turkish Journal of Forestry, 25(2): 213-219.
- Polat, M.P., 2018. Atıksularda renk ölçüm metodlarının karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Rounds, S.A., Wilde, F.D., Ritz, G.F., 2006. Dissolved oxygen, National field manual for the collection of water-quality data, US Geological Survey, Chapter a6. section 6.2.
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F., 2020. Çevre Mühendisliği ve Bilimi İçin Kimya (Çeviri: İsmail Toköz), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Şengül, F., Türkman, A., 1998. Su ve atıksu analizleri. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir, s:152.
- TS EN ISO 7027. Su kalitesi - Bulanıklık tayini, Türk Standartları Estates, Ankara.
- Yilgor, N., Dogu, D., Moore, R., Terzi, E., Kartal, S.N., 2013. Evaluation of fungal deterioration in *Liquidambar orientalis* Mill, Heart wood by FT-IR and light microscopy. BioResources, 8: 2805–2826.

Moisture dependent bending properties of poplar

Tuğba Yılmaz Aydın^{a,*} , Uğur Özkan^a 

Abstract: The influence of moisture on the physical (density) and mechanical (modulus of rupture-MOR, modulus of elasticity-MOE) properties of *Populus x canadensis* M. were figured out by three three-point bending tests and ultrasonic testing. Samples were conditioned at 20±1 °C and 45, 65, and 85% relative humidity. The calculated ultrasonic longitudinal wave velocity (V_{LL}) was used to determine dynamic MOE (4549 to 4735 MPa) and compared to static MOE (5461 to 5910 MPa). Static MOE values are around 15.3% to 28.1% higher than dynamic values. MOR values, the most influenced properties, decreased from 70.1 MPa to 51.3 MPa with the increase in moisture. Pearson correlation coefficients ranged from 0.52 (MOR vs V_{LL}) to 0.94 (MOE_{dyn} vs V_{LL}). The R^2 values ranged from 0.187 (V_{LL} vs MOR at 85% RH) to 0.94 (V_{LL} vs E_{dyn} at 65% RH).

Keywords: *Populus x canadensis*, Modulus of rupture, Modulus of elasticity, Ultrasound

Kavak odununun rutubete bağlı eğilme özellikleri

Öz: Rutubetin, *Populus x canadensis* M.'in fiziksel (yoğunluk) ve mekanik (Eğilme direnci-MOR, Elastikiyet modülü-MOE) özellikleri üzerindeki etkisi üç nokta eğme testi ve ultrasonik test yöntemi ile belirlenmiştir. Örnekler 20±1 °C'de ve %45, 65 ve 85 bağıl nemde şartlandırılmıştır. Hesaplanan ultrasonik boyuna dalga hızı (V_{LL}) dinamik MOE'yi (4549 ila 4735 MPa) belirlemek için kullanılmış ve statik MOE (5461 ila 5910 MPa) ile karşılaştırılmıştır. Statik MOE değerleri dinamik değerlerden yaklaşık %15.3 ila %28.1 daha yüksektir. Rutubetten en çok etkilenen özellik olan MOR değerleri, rutubetteki artışla birlikte 70.1 MPa'dan 51.3 MPa'ya düşmüştür. Pearson korelasyon katsayıları 0.52 (MOR vs V_{LL}) ile 0.94 (MOE_{dyn} vs V_{LL}) arasında değişmektedir. R^2 değerleri 0.187 (%85 bağıl nemde V_{LL} vs MOR) ile %0.94 (%65 bağıl nemde V_{LL} vs E_{dyn}) arasında değişmiştir.

Anahtar kelimeler: *Populus x canadensis*, Eğilme direnci, Elastikiyet modülü, Ultrases

1. Introduction

Environmental conditions define the materials' behaviors and lifetime, and moisture is one of the essential factors that influence the materials' physical and mechanical properties. Shrinkage and swelling are the two basic behaviors of wood material when moisture content decreases and increases from the fiber saturation point (FSP). Therefore, there is an interaction between the surrounding factors such as humidity and wood. As an organic and biological material, wood material can be easily and dramatically affected by moisture if it is not preserved. Furthermore, changes in physical and mechanical properties can be irreversible. Therefore, to prevent damage in wood structure, various methods are in use to modify wood structure. The basic and one of the oldest ways is the air-drying (natural) of wood. By technological advancements engineering methods were developed such as kiln drying. However, devastating interaction between the humid conditions and wood somehow proceeds. In this case, further modification processes such as heat-treatment are required to minimize interactions.

The tie between wood and humidity requires in-site utilization knowledge which is directly related to physical and mechanical properties. Because of equilibration, absorption and desorption of moist from the surrounding air cyclically and regularly occur in terms of weather conditions related to the seasons and geological locations. For interior

utilization, this cycle is a less-concern issue due to engineering acclimatization of the interiors while the top-of-mind due to the wide range diffraction for humidity at the outside. Therefore, irreversible impacts of moisture on wood properties may not be critical for decorative objects or interior production but may play a vital role when wooden materials are used for structural purposes particularly for outside applications. Therefore, the influence of moisture on wood material properties should be known. When considering the mechanical properties of wood, the critical factor is the FSP. Because, when moisture content of wood decreases below the FSP, mechanical properties increase (Gerhards, 1982).

Poplar trees were once thought of as weed trees that should be taken out of wood stands (Balatinecz and Kretschmann, 2002). Furthermore, wood obtained by poplar species were generally utilized in relatively low value-added applications. For example, upholstered type furniture, one of the covering materials of metal structured sofa bed is the poplar. However, it should also bear in mind that due to low-density, poplar installation in such furniture production provides lightness and cost efficiency. The main characteristics of the poplar species are the relatively low density and diffuse porous structure. Against the relatively low strength properties, bending strength and stiffness of some poplar species can be compared by some softwood species and products made using poplar species can

✉ ^a Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Forestry, Forest Product Engineering, Isparta, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): tugbayilmaz@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 10.09.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 22.11.2024



Citation (Atf): Yılmaz Aydın, T., Özkan, U., 2024. Moisture dependent bending properties of Poplar. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 514-519.
DOI: [10.18182/tjf.1547421](https://doi.org/10.18182/tjf.1547421)

successfully compete with products made of softwoods (Balatinecz and Kretschmann, 2002). Contrary to the abovementioned disadvantages, one of the most prevalent fast-growing tree species is the poplar (Varivodina et al., 2018) and recently founds a wide range of application field by advanced value-added modifications.

Populus x canadensis Moench is one of the poplar species which naturally grown by natural hybridization of *Populus nigra* and *Populus deltoides*. *Populus x canadensis* Moench is a tree that is extensively found in Türkiye (Davis, 1982). However, in literature, there are limited studies that figured out *Populus x canadensis* while other species were generally evaluated. For example, Ettelaei et al. (2019) determined moisture-influenced modulus of elasticity (MOE) of *Populus euramericana* by propagation of 22kHz ultrasonic wave. Gray et al. (2008) predicted moisture-influenced MOE of yellow-poplar by stress wave and stated that propagation time increases with the increase in moisture content. Pierre et al. (2013) figured out the effect of moisture on Young's modulus of *Populus euramericana* cv. I214. On the other hand, Hodoušek et al. (2017), is one of the limited studies which determined the MOE of *Populus x canadensis* using an MTG Timber grader, and accelerometer and compared it to static bending test results. Therefore, moisture influenced elastic and strength properties of *Populus x canadensis* are required for wood science and technology field either for comparison or numerical analysis.

From a holistic perspective, the aim of this study is to determine the moisture influenced MOE and modulus of rupture (MOR) by bending test and compare the static MOE values with the values which were determined by ultrasonic measurements for the *Populus x canadensis* Moench which is not evaluated before.

2. Materials and methods

Samples were prepared using Canadian poplar (*Populus x canadensis* Moench) laths which logs were cut in Atabey, Isparta, Türkiye.

As seen in Figure 1, static bending test pieces were prepared according to TS ISO 13061-3 (2021) with 20x20 mm cross-section and 350 mm in length along the grain direction. 20x20x20 mm cubic test pieces for ultrasonic measurements were cut sequentially from each bending test samples for ensuring the matching and minimizing the variations. Recently a national or an international standard which defines the ultrasonic testing and evaluation for the strength or elasticity determination of wood is not available. Therefore, this process was based on previously published studies (Bachtiar et al., 2017), (Longo et al., 2018) or (Yılmaz Aydın and Aydın, 2018). All the samples were acclimated by humidity chamber (HCP 108, Memmert GmbH+Co. KG, Schwabach, Germany).

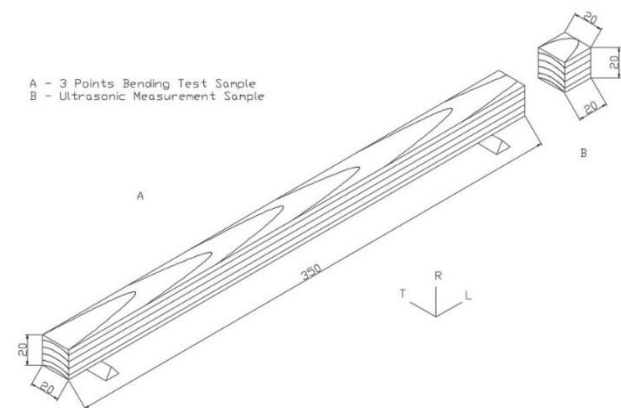


Figure 1. Schematics for samples



Figure 2. 3 points bending test (left) and ultrasonic measurements (right)

The density and moisture content of the samples were determined according to TS ISO 13061-2 (2021) and TS 2472 (2005) standards, respectively.

The MOE and MOR were determined by performing a three-point bending test using a universal test machine. The Eqs. 1 and 2 were used to calculate MOE and MOR, respectively.

$$MOE = \frac{\Delta F x L^3}{\Delta d x 4 x b x h^3} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

where; ΔF is the difference between the two loads ($F_2 - F_1$) in the linear elastic region, L is the span (mm), Δd is the deflection (mm), b and h are the width (mm), and thickness (mm) of the sample, respectively.

$$MOR = \frac{3 x F x L}{2 x b x h^2} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

where; F is the load at failure (N), L is the span between supports (mm), and b and h are the depth (mm) and width (mm) of the sample, respectively.

The E_{dyn} was determined using Eq. 3. The velocities were calculated using the propagation time of the longitudinal wave (2.25 MHz) which was transmitted and received by an ultrasonic flaw detector (EPOCH 650, Olympus, USA).

$$E_{dyn} = \rho x V_{LL}^2 x 10^{-6} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

where; ρ is the density of the sample (kg/m^3) and V_{LL} is longitudinal ultrasound wave velocity (m/s).

Pearson correlation tests and linear regression models were determined to figure out the similarities and relationships between the variables, respectively.

3. Results and discussion

The descriptives for the physical and mechanical properties are presented in Table 1. The density for the *Populus x canadensis* solid wood in the literature ranges from 334-468 kg/m^3 (Casado et al., 2010; Hodoušek et al., 2017; YingJie et al., 2017; Villasante et al., 2021; Papandrea et al., 2022; Aydın and Aydın, 2023). The density averages are in the range but close to the lower bound. However, 300 kg/m^3 average density for *Populus x canadensis* Moench veneer was reported by Meija et al. (2020). Therefore, such diffraction is not abnormal. Around 6% and 9% increases were observed with the increase in moisture.

The V_{LL} decreased and then surpassed the initial values. The numerical differences for the V_{LL} by the increase in moisture were -0.84% and +0.23%, respectively. The V_{LL} for *populus canadensis* is not available in the literature. However, 3360 m/s for *Populus deltoides* (Zahedi et al., 2022) were reported. This speed makes sense when considering that the *Populus x canadensis* is the naturally occurring hybrid of *Populus nigra* and *Populus deltoides*.

Apart from UWVs, 3877 to 4761 m/s stress wave speed (V_{LL}) for the I-214 clone was mentioned (Casado et al., 2010; Papandrea et al., 2022).

The E_{dyn} 1.4% decreased and then 2.6% increased with the increase in moisture. The MOE_{stat} 3.9% and 7.6% decreased with the increase in moisture. Hodoušek et al. (2017) reported 4268 to 11018 MPa MOE_{stat} and 3650 to 9276 MPa MOE_{dyn} ranges. The averages of the MOE_{stat} and MOE_{dyn} were 7135 MPa, 6180 MPa (timber grader), and 6331 MPa (accelerometer), respectively. As can be seen in Table 1, the MOE_{stat} values of this study were 20.7%, 25.6%, and 30.7% lower than those of Hodoušek et al. (2017). Dynamic values were around 30.5% to 39.2% lower. Furthermore, the MOE_{stat} values are 28.1%, 24.9%, and 15.3% lower than the MOE_{dyn} . Also, YingJie et al. (2017) reported 9014 MPa MOE_{stat} for *Populus canadensis* (0.468 g/cm^3 density) which is considerably higher than those of this study.

As can be seen in Table 1, the most influenced feature was the MOR because 12.7% and 26.8% decreases were observed, respectively. Such linear-like decreases were not seen in ultrasonic testing, and it was thought that the increase in density by the water absorption did not accommodate the linear-like increase in velocity. YingJie et al. (2017) reported 55.9 MPa MOR for *Populus canadensis* (0.468 kg/m^3 density) which is comparable to the results of this study. However, for the I-214 clone, 37.8 MPa (Koman et al., 2013) and 48.5 MPa (Kurt, 2010) were also reported, which are considerably lower than those of this study. As can be seen in Table 1, contrary to MOE_{stat} , the MOR of this study is higher than those of the reported values.

Hodoušek et al. (2017) reported 0.898 and 0.906 correlation values for MOE_{dyn} vs MOE_{stat} . As can be seen in Figure 3, lower coefficients were calculated between these variables. In the literature, there are similar and much higher or lower coefficients for different wood species. For example, closer coefficients were calculated by Papandrea et al. (2022) for poplar while Baar et al. (2015) reported 0.59 (MOR vs MOE_{stat}) and 0.60 (MOE_{dyn} vs MOE_{stat}) for zebrano wood.

Hodoušek et al. (2017) reported 0.81 and 0.82 R^2 values for MOE_{dyn} vs MOE_{stat} . However, lower values (0.67-0.71 R^2) for the I-214 clone (Gallego et al., 2021) and (0.44-0.61 R^2) for *Populus euramericana* (Ettelaei et al., 2019) were also reported. Contrarily, higher values such as 0.83 (Yılmaz Aydın, 2021) and 0.897 (Yılmaz Aydın and Aydın, 2020) for different species are also mentioned. As presented in Figure 3, comparable coefficients were calculated.

The coefficients for V_{LL} vs E_{dyn} are the highest among them due to calculation elements seen in Eq. 3. Furthermore, as can be seen in Figs. 1-6, the models can predict 18.7% (V_{LL} vs MOR at 85% RH) to 94% (V_{LL} vs E_{dyn} at 65% RH) variables. As can be seen in Figures 4, 5, 6, 7, and 8, the prediction ability of the models dramatically decreases when the moisture increases.

Table 1. Averages for the properties

R.H. (%)	M.C. (%)	Density (g/cm^3)	V_{LL} (m/s) [CoV]*	E_{dyn} (MPa) [CoV]	MOE (MPa) [CoV]	MOR (MPa) [CoV]
45	10.20	0.33	3650.06 [4.40]	4613.66 [11.58]	5910.31 [9.50]	70.10 [5.68]
65	12.83	0.35	3619.59 [2.59]	4548.65 [9.73]	5679.91 [6.53]	61.17 [2.22]
85	16.45	0.36	3658.58 [4.40]	4734.64 [11.75]	5460.96 [7.41]	51.32 [2.86]

*Coefficient of variation

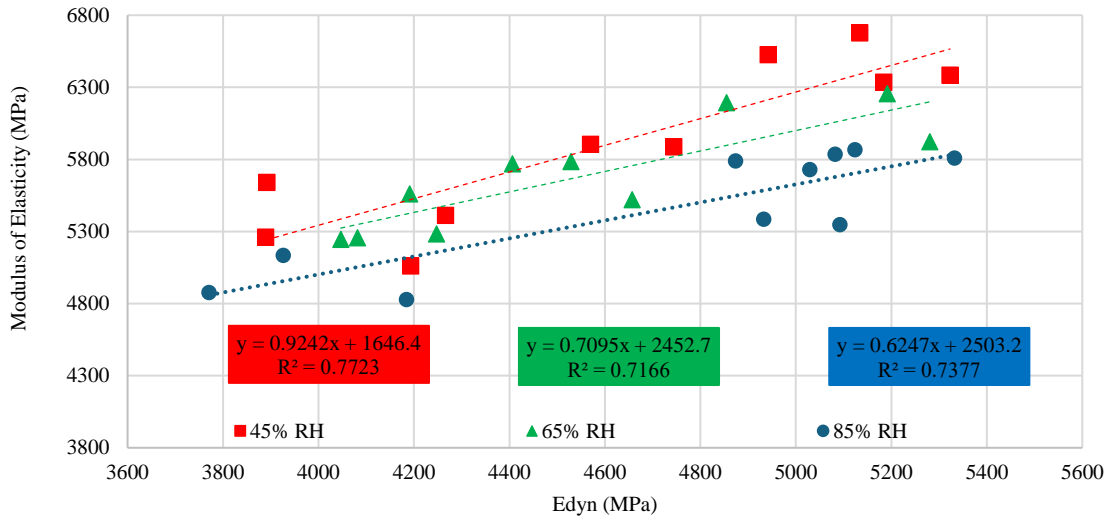


Figure 3. Coefficient of determination between MOE_{stat} and E_{dyn}

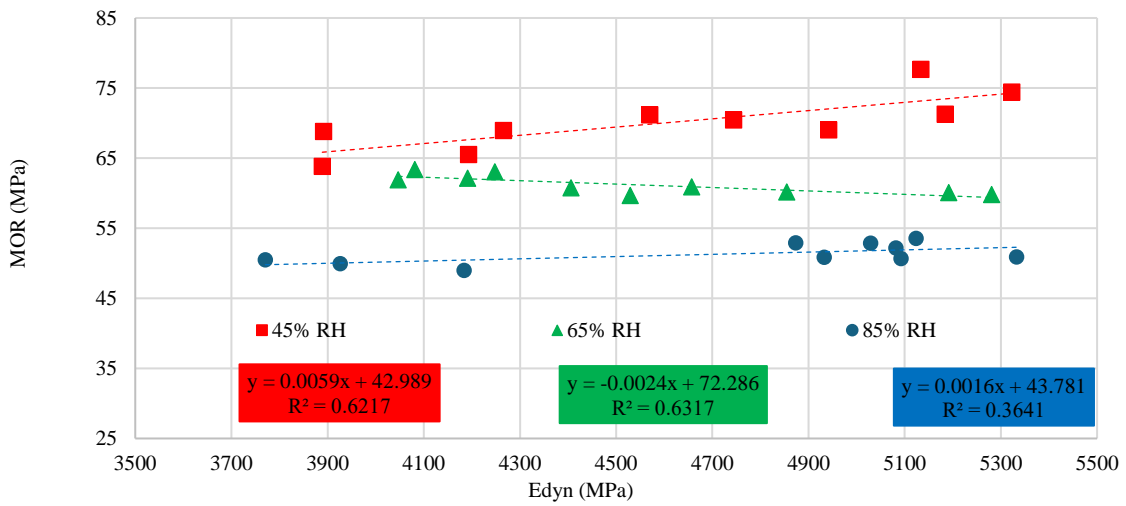


Figure 4. Coefficient of determination between MOR_{stat} and E_{dyn}

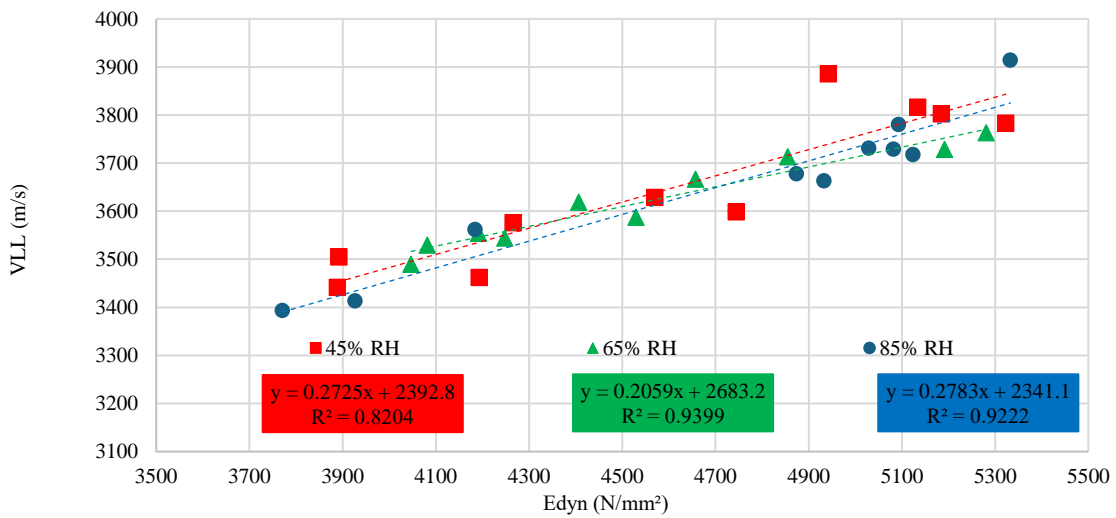


Figure 5. The coefficient of determination between V_{LL} and E_{dyn}

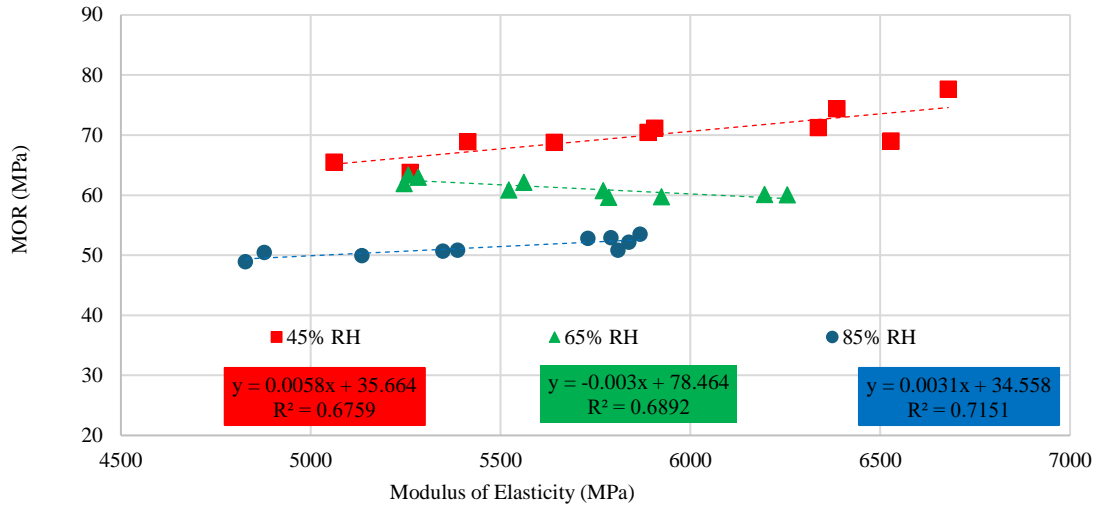


Figure 6. Coefficient of determination between MOE and MOR

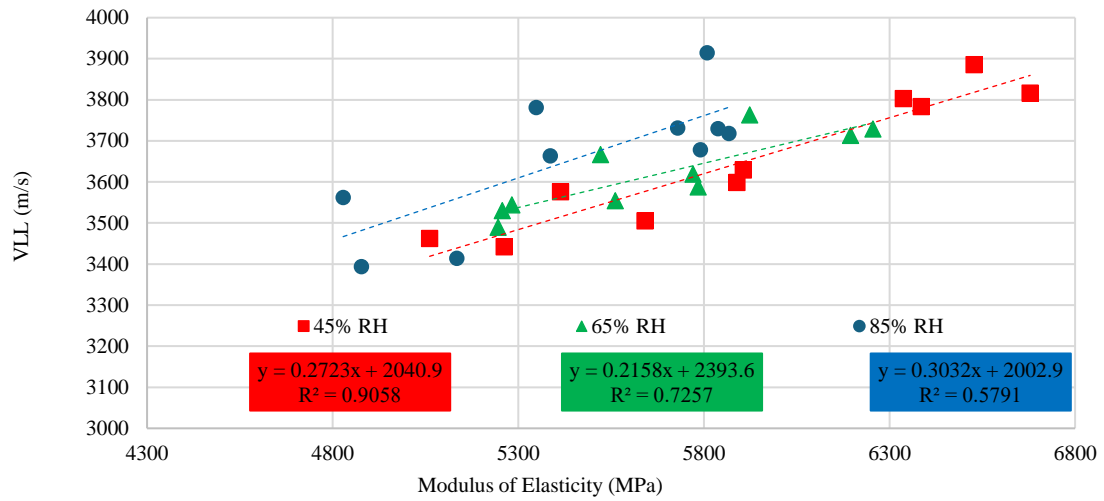


Figure 7. Coefficient of determination between MOE and V_{LL}

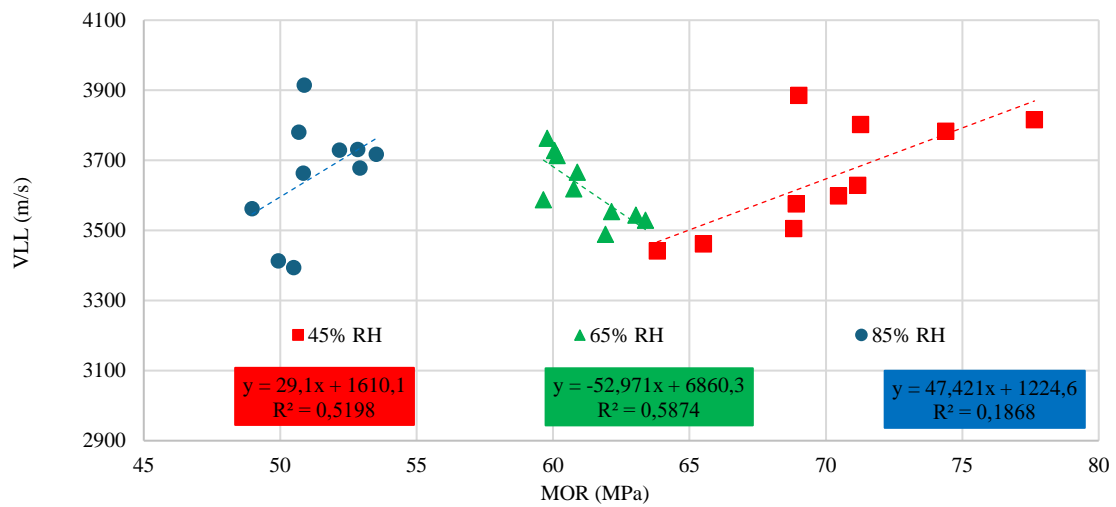


Figure 8. Coefficient of determination between MOR and V_{LL}

4. Conclusion

The bending properties of *populus canadensis* M. were destructively and non-destructively evaluated. Moisture content changes have caused different effects on the physical and mechanical properties.

The densities of the samples were increased with the absorption of the water as it should be. Density is one of the main determinants of E_{dyn} along with velocity. As well-known, the ultrasonic wave velocity is around 4.3 times higher in water than air. In this case, significant increases in V_{LL} might be expected when considering the water absorbing capacity of poplar due to its porous structure. However, such advancement in velocity was not observed. Indeed, velocity fluctuated by the increase in moisture content. This behavior was attributed to structural solidification failure which may cause propagation alterations.

As a result of V_{LL} fluctuations, E_{dyn} was also oscillated (deceased and surpassed the initial values).

Contrary to E_{dyn} , linear-like changes were observed in static test results. Both MOE_{stat} and MOR were linearly and remarkably decreased with the increase in moisture content, but MOR was the most influenced property.

Except in some cases, a fair amount of variables can be predicted by the linear regression models.

References

- Aydın, M., Aydın, T.Y., 2023. Influence of growth ring number and width on elastic constants of poplar. *Bioresources*, 18(4): 8484–8502. <https://doi.org/10.15376/biores.18.4.8484-8502>
- Baar, J., Tippner, J., Rademacher, P., 2015. Prediction of mechanical properties - modulus of rupture and modulus of elasticity - of five tropical species by nondestructive methods. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(2): 239-252. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000023>
- Bachtari, E. V., Sanabria, S.J., Mittig, J.P., Niemi, P., 2017. Moisture-dependent elastic characteristics of walnut and cherry wood by means of mechanical and ultrasonic test incorporating three different ultrasound data evaluation techniques. *Wood Science and Technology*, 51: 47–67. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0851-z>
- Balatinecz, J.J., Kretschmann, D.E., 2002. Properties and utilization of poplar wood. In: *Poplar Culture in North America* (Eds: Dickmann, D.I., Isebrands, J.G., Eckenwalder, J.E., Richardson, J.). NRC Research Press, Dickmann, Donald I., pp. 277–291.
- Casado, M., Acuña, L., Vecilla, D., Relea, E., Basterra, A., Ramón, G., López, G., 2010. The influence of size in predicting the elastic modulus of *Populus x euramericana* timber using vibration techniques. In: *Structures & Architecture* (Ed: Cruz), CRC Press, London, pp. 579–579. <https://doi.org/10.1201/b10428-282>
- Davis, P.H., 1982. *Flora of Turkey and East Aegean Islands*, Volume 7, Edinburgh University Press, Edinburgh, 947 p.
- Ettelaie, A., Layeghi, M., Zarea Hosseinabadi, H., Ebrahimi, G., 2019. Prediction of modulus of elasticity of poplar wood using ultrasonic technique by applying empirical correction factors. *Measurement*, 135: 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.076>
- Gallego, A., Ripoll, M.A., Timbolmas, C., Rescalvo, F., Suarez, E., Valverde, I., Rodríguez, M., Navarro, F.B., Merlo, E., 2021. Modulus of elasticity of I-214 young poplar wood from standing trees to sawn timber: Influence of the age and stand density. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79: 1225–1239. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01675-5>
- Gerhards, C.C., 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. *Wood and Fiber Science*, 14(1): 4–36.
- Gray, J.D., Grushecky, S.T., Armstrong, J.P., 2008. Stress wave velocity and dynamic modulus of elasticity of yellow-poplar ranging from 100 to 10 percent moisture content. *Proceedings of the 16th Central Hardwoods Forest Conference*, 8-9 April, West Lafayette, USA, pp. 139–142.
- Hodoušek, M., Dias, A.M.P.G., Martins, C., Marques, A.F.S., Böhm, M., 2017. Comparison of non-destructive methods based on natural frequency for determining the modulus of elasticity of *Cupressus lusitanica* and *Populus x canadensis*. *Bioresources*, 12(1): 270–282.
- Koman, S., Feher, S., Abraham, J., Taschner, R., 2013. Effect of knots on the bending strength and the modulus of elasticity of wood. *Wood Research*, 58(4): 617–626.
- Kurt, R., 2010. Suitability of three hybrid poplar clones for laminated veneer lumber manufacturing using melamine urea formaldehyde adhesive. *Bioresources*, 5(3): 1868–1878.
- Longo, R., Laux, D., Pagano, S., Delaunay, T., Le Clézio, E., Arould, O., 2018. Elastic characterization of wood by Resonant Ultrasound Spectroscopy (RUS): A comprehensive study. *Wood Science and Technology*, 52: 383–402. <https://doi.org/10.1007/s00226-017-0980-z>
- Meija, A., Irbe, I., Morozovs, A., Spulle, U., 2020. Properties of *Populus* genus veneers thermally modified by two modification methods: wood treatment technology and vacuum thermal treatment. *Agronomy Research*, 18(3): 2138–2147. <https://doi.org/10.15159/AR.20.184>
- Papandrea, S.F., Cataldo, M.F., Bernardi, B., Zimbalatti, G., Proto, A.R., 2022. The predictive accuracy of modulus of elasticity (MOE) in the wood of standing trees and logs. *Forests*, 13(8): 1273. <https://doi.org/10.3390/f13081273>
- Pierre, F., Almeida, G., Huber, F., Jacquin, P., Perré, P., 2013. An original impact device for biomass characterisation: results obtained for spruce and poplar at different moisture contents. *Wood Science and Technology*, 47: 537–555. <https://doi.org/10.1007/s00226-012-0512-9>
- TS 2472, 2005. Wood - Determination of density for physical and mechanical tests, Wood, sawlogs and sawn timber (ICS 79.040). Turkish Standard Institution, Ankara.
- TS ISO 13061-2, 2021. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Turkish Standard Institution, Ankara.
- TS ISO 13061-3, 2021. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 3: Determination of ultimate strength in static bending. Turkish Standard Institution, Ankara.
- Varivodina, I., Mashkina, O., Varivodin, V., 2018. Technical characteristics of poplar wood as raw material for wide use in timber industry. *ProLigno*, 14: 20–27.
- Villasante, A., Vignote, S., Fernandez-Serrano, A., Laina, R., 2021. Simultaneous treatment with oil heat and densification on physical properties of *Populus x Canadensis* wood. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 24(5): 1-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100405>
- Yılmaz Aydın, T., Aydın, M., 2018. Effect of density and propagation length on ultrasonic longitudinal wave velocity in some important wood species grown in Turkey. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4): 413–418. <https://doi.org/10.18182/tjf.459005>
- Yılmaz Aydın, T., Aydın, M., 2020. Influence of temperature and exposure duration on the bending properties of oak wood. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 22(3): 871–877. <https://doi.org/10.24011/barofd.792268>
- Yılmaz Aydın, T., 2021. Evaluation of heating temperature and time on bending properties of Taurus cedar wood. *Turkish Journal of Forestry*, 22(4): 432–438. <https://doi.org/10.18182/tjf.1019032>
- YingJie, Z., DeJun, F., YanGuang, D., 2017. Wood physical and mechanical properties of *Populus x canadensis* Moench and *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. Gelrica. *Agricultural Science and Technology*, 18(12): 2532–2535.
- Zahedi, M., Kazemi Najafi, S., Füssl, J., Elyasi, M., 2022. Determining elastic constants of poplar wood (*Populus deltoides*) by ultrasonic waves and its application in the finite element analysis. *Wood Material Science and Engineering*, 17(6): 668–678. <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1925962>

Ekstraksiyon reçinesinden (Crude wood resin) $AlCl_3$ eşliğinde fenolik reçinelerin polimerizasyonu ve modellenmesi

Merve Genç^{a,*} , Naile Angın^a , Muhammed Yusuf Aksakal^a , Murat Ertaş^a , Ömür Aras^b 

Öz: Artan çevre sorunlarıyla birlikte, çevreye toksik etkisi daha az olan ve biyolojik olarak parçalanabilen doğal polimerlere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Doğal reçine, gelecek vaat eden değerli yenilenebilir bir odun dışı orman ürünü olup, birçok biyokimyasal ürünün üretilmesinde doğal bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, yenilikçi bir polimerizasyon tekniği ile ekstraksiyon reçinesi (Crude Wood Resin), terebentin ve fenolden $AlCl_3$ eşliğinde terpen-rosin fenolik reçine (TRFR) sentezlenmesi amaçlanmaktadır. Sentez aşamasına geçmeden önce ham reçine distilasyon ile terebentin ve kolofana ayrılmış ve gaz kromatografi - kütle spektroskopisi (GC-MS) cihazı ile karakterize edilmiştir. Sentezlenen TRFR örnekleri, Fourier Dönüşümü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Nükleer Manyetik Rezonans Spektroskopisi (NMR), asit sayısı, sabunlaşma sayısı ve yumuşama noktası analizleri ile karakterize edilmiştir. Ayrıca, sentez reaksiyonlarının modellenmesi Yapay Sinir Ağı (YSA) 2 girdi (sıcaklık ve terebentin/ekstraksiyon reçine oranı) ve 4 çıktı (reaksiyon verimi, asit değeri, sabunlaşma değeri ve yumuşama noktası) ile tasarlanmıştır. En yüksek reaksiyon verimi $60^{\circ}C$ 'de üretilen, terebentin/ekstraksiyon reçine oranının 1/2 olduğu örnekte bulunmuştur. En düşük asit ve sabunlaşma değerleri sırasıyla 90,79 ve 103,79 mg KOH/g olarak hesaplanmıştır. En yüksek yumuşama noktası $79^{\circ}C$ olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Ekstraksiyon reçinesi, Fenolik reçineler, Biyopolimer, Kolofan, Yapay sinir ağı

Polymerization and modeling of phenolic resins from crude wood resin in the presence of $AlCl_3$

Abstract: With increasing environmental problems, interest in natural polymers that have less toxic effects on the environment and are biodegradable is increasing day by day. Natural resin is a promising and valuable renewable non-wood forest product and is used as a natural resource in the production of many biochemical products. In this study, it is aimed to synthesize terpene-rosin phenolic resin (TRFR) from crude wood resin, turpentine and phenol in the presence of $AlCl_3$ with an innovative polymerization technique. Before proceeding to the synthesis stage, the raw resin was separated into turpentine and rosin by distillation and characterized with a gas chromatography - mass spectroscopy (GC-MS) device. The synthesized TRFR samples were characterized by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR), acid number, saponification number and softening point analyses. Moreover, the modeling of synthesis reactions Artificial Neural Network (ANN) was designed with 2 inputs (temperature and turpentine/crude wood resin ratio) and 4 outputs (reaction yield, acid value, saponification value and softening point). The highest reaction efficiency was found in the sample produced at $60^{\circ}C$ with a turpentine/crude wood resin ratio of 1/2. The lowest acidity and saponification values were calculated as 90.79 and 103.79 mg KOH/g, respectively. The highest softening point was found to be $79^{\circ}C$.

Keywords: Crude wood resin, Phenolic resins, Biopolymer, Rosin, Artificial neural network

1. Giriş

Son yıllarda, doğal kaynaklardan elde edilen biyopolimerler giderek önem kazanmaktadır (Zhang vd., 2022). Biyopolimerler özellikle biyolojik olarak parçalanabilirlik, biyoyumulluk, düşük maliyet ve yenilenebilir olma özellikleri ile öne çıkmaktadır (Pradhan vd., 2020). Öte yandan, petrokimya bazlı polimerlerin ciddi çevresel sorunlara yol açması ve kaynaklarının da hızla tükendiği bilinmektedir (Sarika vd., 2021). İnsan sağlığı üzerinde de olumsuz etkileri bulunan bu gibi petrokimyasal ürünler yerine doğal reçine gibi sürdürülebilir malzemelerin

kullanımına olan ilgi giderek artmaktadır (Komut, 2019; Yılmaz vd., 2024).

Doğal reçine, çam ağaçlarının biyolojik faktörlere karşı savunma mekanizması sonucu oluşan çok değerli bir odun dışı orman ürünü olarak bilinmektedir (Tsanaktsidis vd., 2013). Özellikle kimya endüstrisinin hızla geliştiği günümüzde birçok biyokimyasal ürünün üretilmesinde doğal, yenilenebilir bir kaynak olarak kullanılmaktadır (Favvas vd., 2015). Ülkemiz reçine üretimine uygun kızılçam ormanları ile dünyada ilk sıralarda yer almaktadır (Genç, 2023). Fakat reçine, türevleri halinde önemli miktarda ülkemizdeki farklı sektörler tarafından ithal edilmektedir. TÜİK verilerine göre, ülkemizde 2023 yılı için ithal edilen toplam kolofan türevleri

✉ ^a Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16310, Bursa

^b Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 16310, Bursa

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mervegencc1608@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 02.12.2024



Citation (Atıf): Genç, M., Angın, N., Aksakal, M.Y., Ertaş, M., Aras, Ö., 2024. Ekstraksiyon reçinesinden (Crude wood resin) $AlCl_3$ eşliğinde fenolik reçinelerin polimerizasyonu ve modellenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 520-529.

DOI: [10.18182/tjf.1510494](https://doi.org/10.18182/tjf.1510494)

miktarı 28.039.834 kg olup, buna karşılık 55.664.413 USD ödendiği görülmektedir. İthal edilen 22.259.769 kg terebentin türevleri için ise, 60.981.692 USD ödenmiş olup, terebentin ve kolofan türevlerine 2023 yılı ithalatında ödenen döviz miktarı 116.646,105 USD olduğu bilinmektedir (Deniz ve Aydın, 2023). Günümüzde doğal reçine üretimi akma reçine, ekstraksiyon reçinesi ve sülfat reçinesi olmak üzere üç farklı yöntemle yapılmaktadır. Ekstraksiyon reçinesi, diğer reçine türlerinden üretim tekniği ve hammadde olarak çam ağaçlarının dip kütük ve köklerinin kullanılması açısından farklılık göstermektedir. Üretim tekniği kökte bulunan reçinenin yapısını bozmadan uygun bir çözücü yardımıyla reçine eldesini kapsamaktadır (Linlin vd., 2005). Ekstraksiyon reçinesi temel olarak uçucu kısım terebentin ve katı kısım kolofan olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Beglinger, 1958; Angın ve Ertaş, 2021). Terebentin monoterpenler ve seskiterpenlerden oluşan kimyasal bir karışım olarak bilinmektedir (Liang vd., 2023) Kolofan ise %90 oranında reçine asitlerinden (abietik ve pimarik asit tipi) oluşmaktadır. Reçine asit molekülleri çift bağ ve karboksil grubu olmak üzere iki reaktif bölge içermektedir. Kimyasal reaksiyonlar bu bölgelerin birinde veya her ikisinde de meydana gelebilmektedir. Bu durum, reçineyi kimyasal kullanım için uygun bir polimer haline getirmektedir. Doğal reçine, fizikokimyasal özelliklerini değiştirmek ve farklı kullanımlara uyum sağlamak için sıklıkla kimyasal olarak türevlendirilmektedir. Türevlendirme, fenol ve maleik anhidrit gibi kimyasalların reaksiyonuyla, alkollerle esterleştirmeyle veya orantısızlaştırma reaksiyonları ile meydana gelebilmektedir (Yadav vd., 2016). Fenolün, terpen reçinelerinde daha yüksek polarite vermek amacıyla yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Phun vd., 2017).

Fenolik reçineler, 1911 yılında Japonya'da ilk başarılı deneme üretiminden bu yana sürekli olarak geliştirilmektedir (Hirano ve Asami, 2013). Günümüzde terpen fenolik reçineler ve rosin fenolik reçineler gibi farklı modifiye edilmiş fenolik reçineler üretilmektedir (Tang vd., 2021). Terpenik reçinelerde pinen kaynağı olarak terebentinin yapısında bulunan terpenler (α -pinen, β -pinen) kullanılır ve reaksiyon mekanizması terpenler üzerinden ilerlemektedir. Terpenlerin, bazı kimyasal reaksiyonlarda sentezi başlatan madde olarak kullanıldığı bilinmektedir (Wilbon vd., 2013). Rosin bazlı fenolik reçinenin üretim mekanizması ise reçine asitleri üzerinden ilerlemektedir. Abietan tipi reçine asitleri (levopimarik, palustrik, abietik ve neoabietik asitler) polimerizasyon reaksiyonlarına eğilim göstermektedir. Reçine asitlerinin ($C_{19}H_{29}COOH$) yapısındaki konjuge çift bağ, fenol ile kolayca reaksiyona girerek polimerizasyonun gerçekleşmesini sağlayan yeni bir halka yapısı oluşturmaktadır (Tang vd., 2021)

Ticari olarak kullanılan terpen fenol reçineleri, terpenin bir fenol ile uygun çözücü içerisinde bir katalizör varlığında reaksiyona sokulmasıyla üretilmektedir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra reçineli ürün, solvent ve yan ürünlerinden damıtma yoluyla izole edilmektedir (Fink, 2018). Terpen-rosin fenolik reçineler ise terpen ve kolofanın aynı anda fenol ile reaksiyona sokulmasıyla elde edilmektedir. Böylece ham reçinenin terebentin ve kolofana ayrılmasına gerek kalmadan, distilasyon masrafı bertaraf edilerek katma değerli bir ürün meydana gelmektedir (Genç, 2023). Terpenlerin fenol ile verdiği reaksiyon bir Diels-Alder reaksiyonudur ve tüm reaksiyonlar bu mekanizma üzerinden yürümektedir (Munkhbat, 2011). Reaksiyonda katalizör olarak lewis asitleri ($AlCl_3$, BF_3 , $ZnCl_2$) kullanılmaktadır.

Alüminyum klorür, polimerizasyon için gereken süreyi kısaltmada, ürün veriminde etkili olmasında ve ekonomik açıdan uygun olması sebebiyle yaygın olarak tercih edilmektedir (Samuel G. Burroughs, 1939).

Bu çalışmada, doğal terpen-rosin fenolik reçinesinin (TRFR), kolofan ve terebentinin ön damıtmaya gerek kalmadan tek adımda birlikte reaksiyona sokularak sentezlenmesi ve modellenmesi amaçlanmaktadır. Kullanılan yöntem ve reçine kaynağı olarak ekstraksiyon reçinesinin kullanılması ile önceki yapılan çalışmalardan farklılık göstermektedir. Çalışmanın literatürde doğal reçine bazlı biyopolimerler üzerine yapılan sınırlı araştırmalara katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

2. Materyal ve yöntem

2.1 Materyal

Çalışmada, ham madde olarak kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) köklerinden hekzan ekstraksiyonuyla elde edilen ekstraksiyon reçinesi kullanılmıştır. Ekstraksiyon reçinesi IVA Reçine ve Biyokütle Sanayi AŞ. tarafından sağlanmıştır. Yapılan ön analizlere göre, kullanılan ekstraksiyon reçinesi %20 terebentin ve %80 kolofandan oluşmaktadır. Terebentin içerisinde %71 oranında α -pinen bulunmaktadır. Polimerizasyon ve karakterizasyonda toluen (Sigma Aldrich), fenol (Sigma Aldrich), $AlCl_3$ (Sigma Aldrich), sodyum bikarbonat (Sigma Aldrich), etil alkol (IsoLab, %99.9) ve n-hekzan (VWR) kullanılmıştır.

2.2 Yöntem

2.2.1 Ekstraksiyon reçinesinin bileşenlerinin kimyasal karakterizasyonu

Terebentin ve kolofanın yapısında bulunan kimyasal bileşenleri karakterize edebilmek için gaz kromatografisi - kütle spektrometresi (GC-MS) cihazı (Agilent) kullanılmıştır.

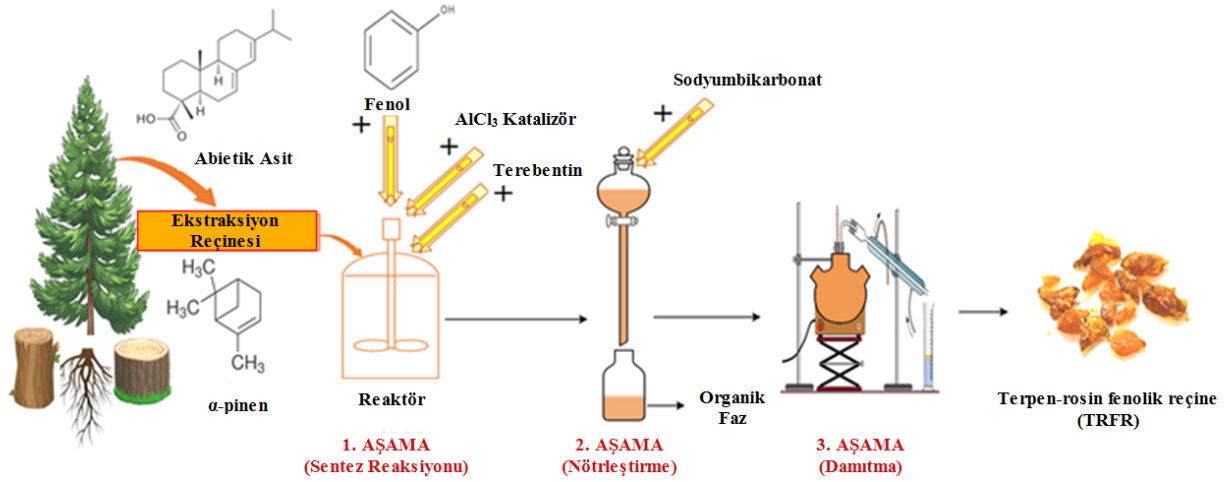
Kolofanın GC-MS analizi için öncelikle esterleştirme ön işlemleri yapılmıştır. Esterleştirme ön için; 0,3 g kolofan numunesi balona tartılmıştır. Balona %2'lik metanollü KOH eklenmiş ve balondaki karışım geri soğutucu altında kaynatılmıştır. Geri soğutucunun tepesinden Borontrifluoride (BF_3) eklenmiş ve 5 dakika daha kaynatılmıştır. Son olarak karışıma; 5 ml hekzan eklenip 1 dakika daha kaynatılmıştır. Geri soğutucudaki tüm buharlar yoğunlaşır balona indikten sonra balondaki karışıma bir miktar doymuş tuz çözeltisi eklenip karıştırılarak ayırma hunisine alınmıştır. Nötrleşene kadar birkaç kez yıkandıktan sonra fazlar ayrılmıştır. Üst faz GC 'ye enjekte edilecek esterleşmiş numunedir.

Bileşenlerin tayini için uygulanan metotta taşıyıcı gaz olarak Helyum (He) gazı, sabit faz olarak ise Agilent HP-5MS (%5 fenil metil siloksan çapraz bağlı; 0,25 μ m; 30 m x 0,250 mm) kapiler kolonu kullanılmıştır. Sıcaklık programı 60 °C'de 10 dk bekletilip 4 °C/dk artış hızı ile sıcaklığın 220 °C'ye yükseltilmesi, 220 °C'de 10 dk bekletilip yine 1 °C artış hızı ile terebentin için 240 °C'ye kolofan için ise 300 °C'ye yükseltilmesi şeklinde optimize edilmiştir. Çalışmada enjektör sıcaklığı 250 °C, iyonizasyon enerjisi 70 eV olarak belirlenmiştir.

2.2.2 TRFR sentezi

Terpen-rozin fenolik reçine (TRFR) üretimi sırasıyla sentez reaksiyonu, nötrleştirme ve damıtma olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır. (Şekil 1). TRFR sentezi sıcaklık ayarlı ve karıştırılmalı bir reaktörde (Parr Instruments Company, Illinois, USA) gerçekleştirilmiştir. Reaktör önceden inert azot gazıyla süpürülmüştür. TRFR sentezi için doğal reçine ve terebentin Çizelge 1’de belirtilen miktarlarda reaktöre koyulduktan sonra üzerine 250 ml toluen eklenmiş ve homojen bir karışım elde edilene kadar 20 dakika boyunca 120 rpm’de karıştırılmıştır. Çizelge 1’de verilen parametreler ön deneme sonuçlarına göre belirlenmiştir.

Daha sonra reaktöre 25 g fenol eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir. Son olarak 2 g katalizör ($AlCl_3$) ilave edilmiş ve 1 atm basınçta 4 saat reaksiyonun gerçekleşmesi beklenmiştir (Deshpande ve Locko, 2003). Reaktörden alınan karışım 2 M sodyum bikarbonat çözeltisi ile nötrleştirilmiş ve organik faz, damıtma için farklı bir şişeye aktarılmıştır. Çözücüyü ve reaksiyona girmemiş fenolü uzaklaştırmak için sıcaklık kontrollü bir damıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Nihai ürün (TRFR) sertleşmesi için soğumaya bırakılmıştır. Reaksiyon örneklerinin bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri karakterize edilerek reaksiyon verimi Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 1. Terpen-rozin fenolik reçine üretim aşamaları
Figure 1. Production stages of terpene-rozin phenolic resin

$$\% \text{Reaksiyon verimi} = \left[\frac{W}{W_g} \times 100 \right] \quad (1)$$

W = Nihai ürün miktarı (g)

W_g = Giren maddelerin toplam ağırlığı (g) (ham reçine + terebentin + fenol)

2.2.3 FTIR analizi

Üretilen terpen-rozin fenolik reçine örneklerinin kimyasal yapısının aydınlatılabilmesi ve yapılarında bulunan fonksiyonel grupları görebilmek için örneklerin 4 cm^{-1} çözünürlükte $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığında ATR donanımlı Bruker Tensor 37 marka cihazda spektrumları alınmıştır.

2.2.4 NMR analizi

Yüksek verimle üretilen TRFR-T80 örneğinin moleküler yapısını aydınlatmak için NMR analizi yapılmıştır. Seçilen TRFR örneğine tek boyutlu proton (1H) ve karbon (^{13}C) analizleri uygulanmıştır. NMR spektrumları, $25^\circ C$ 'de ve 1 saniyelik zaman aralığında 5 mm'lik probalar kullanılarak bir Varian Mercury-Plus 400 MHz NMR Spektrometresi ile elde edilmiştir. Örnekler döteryumlanmış metanol (%98,9 Merck) içerisinde 20 mg/ml konsantrasyonlarla hazırlanmıştır.

Çizelge 1. TRFR üretiminin reaksiyon parametreleri

Table 1. Reaction parameters of TRPR production

Örnek no	Örnek adı	Terebentin (g)	Ekstraksiyon reçinesi (g)	Sıcaklık ($^\circ C$)	Verim (%)
1	TRFR-Kontrol	0	150	40	67,79
2	TRFR-100/50	100	50	40	61,99
3	TRFR-75/75	75	75	40	79,75
4	TRFR-50/100	50	100	40	81,67
5	TRFR-25/125	25	125	40	73,93
6	TRFR-T50	50	100	50	79,90
7	TRFR-T60	50	100	60	82,16
8	TRFR-T70	50	100	70	81,74
9	TRFR-T80	50	100	80	81,30

2.2.5 Asit sayısı tayini

Asit sayısı tayini, TS 4862 nolu standartına uygun olarak yapılmıştır. 4 gram TRFR örneği bir erlen içerisinde koyulduktan sonra üzerine 100 ml etanol eklenmiş ve çözünmesi için karıştırılmıştır. Karışıma, indikatör olarak %1'lik (w/v) olarak hazırlanmış, fenolftalein çözeltisinden 1 ml eklenmiştir. Nihai karışım, etanol ile hazırlanan 0,5 N potasyum hidroksit (KOH) çözeltisi kullanılarak titre edilmiştir. Asit değeri Eşitlik 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Asit sayısı} = \frac{A \times N \times 56,1}{B} \quad (2)$$

- A= Harcanan KOH çözeltisinin hacmi (ml)
 N= KOH çözeltisinin normalitesi
 B= Başlangıçta kullanılan kolofanın ağırlığı (g)
 56,1= KOH molekül ağırlığı (g/mol)

2.2.6 Sabunlaşma sayısı tayini

Sabunlaşma sayısı, TS 4863 nolu standartına uygun olarak yapılmıştır. 4 gram TRFR örneği bir erlen içerisinde koyulduktan sonra üzerine 100 ml etanol eklenmiş ve çözünmesi için karıştırılmıştır. Karışıma 50 ml KOH çözeltisi ilave edilerek sabunlaşma reaksiyonunun sağlanması için geri soğutucu altında 1 saat kaynatılmıştır. Daha sonra karışımın üzerine indikatör olarak 1 ml %1 (w/v) fenolftalein çözeltisi damlatılmıştır. Nihai karışım, etanol ile hazırlanan 0,5 N sülfürik asit (H₂SO₄) çözeltisi kullanılarak titre edilmiştir. Sabunlaşma değeri Eşitlik 3 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Sabunlaşma sayısı} = \frac{(B-A) \times N \times 56,1}{C} \quad (3)$$

- A= Deneysel örneği için harcanan H₂SO₄ çözeltisinin hacmi (ml)
 B= Şahit örnek için harcanan H₂SO₄ çözeltisinin hacmi (ml)
 C= Başlangıçta kullanılan kolofanın ağırlığı (g)
 N= H₂SO₄ çözeltisinin normalitesi
 56,1= KOH molekül ağırlığı (g/mol)

2.2.7 Yumuşama noktası analizi (Halka ve Bilye)

TRFR örneklerinin yumuşama noktası TS 9070 standardına uygun olarak halka ve bilye tekniği ile ölçülmüştür. Erimiş TRFR örnekleri pirinç halka içerisinde dökülerek yaklaşık 30 dk oda sıcaklığında sertleşmesi için bekletilmiştir. Üzerine standart ağırlıklı çelik bilyeler yerleştirilmiş ve distile su bulunan beher içerisinde daldırılmıştır. Beher, ısıtıcıya alınmış ve dakikada 5±0,5°C yükselecek şekilde ısıtılmıştır. Çelik bilyelerin destekleyici zemine değdiği noktadaki sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilmiştir.

2.2.8 YSA modellemesi

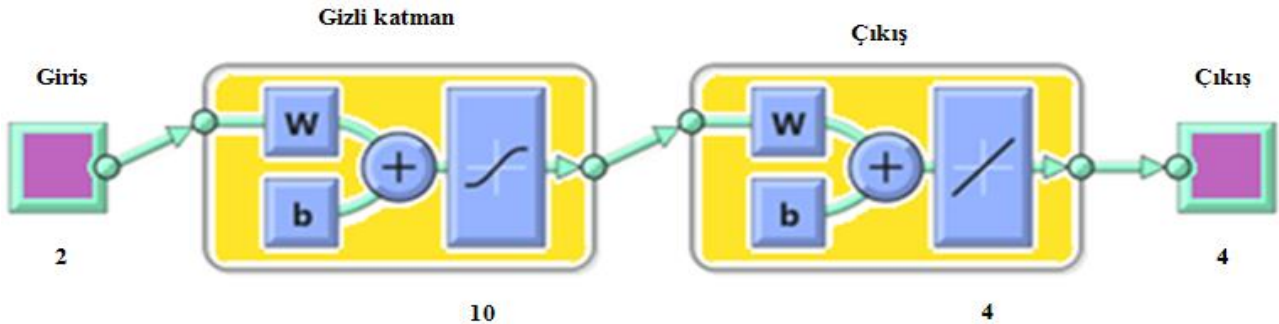
Yapay sinir ağları deneysel girdi ve çıktıları kullanarak ampirik modeller oluşturan bir yöntemdir. Bunun için yapay nöronlar kullanır ve yapay sinir hücreleri arasındaki bağlantıları optimize ederek girdilere yanıt olarak çıktıları tahmin etmeye çalışmaktadır. YSA 2 giriş (sıcaklık ve terebentin/doğal reçine oranı) ve 4 çıkış (reaksiyon verimi, asit değeri, sabunlaşma değeri ve yumuşama noktası) ile tasarlanmıştır. Deneysel bulguların %70'i eğitim %15'i kontrol ve %15'i test verileri için kullanılmıştır. Eğitim algoritması olarak "Levenberg-Marquardt" yöntemi seçilmiştir (Baydır ve Aras, 2022). Gizli katmanın nöron sayısı 10 olarak belirlenmiş olup ağ yapısı Şekil 2'de özetlenmiştir.

Ağın eğitimi farklı koşullarda denenmiş ve en iyi sonuç için regresyon eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen regresyon katsayılarına (0,96-0,99) göre ağın iyi eğitildiği ve güçlü tahmin yeteneği olduğu söylenebilir.

3. Bulgular ve tartışma

3.1 Ekstraksiyon reçinesinin bileşenlerinin kimyasal karakterizasyonu

Terebentin ve Kolofana ait GC-MS Analiz sonuçları Çizelge 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. YSA ağı genel görünümü
 Figure 2. ANN network overview

Çizelge 2. Ekstraksiyon reçinesi terebentinin GC-MS analiz sonuçları

Table 2. Results of GC-MS analysis of extraction resin turpentine

RT (dk)	Bileşen	Bulunma yüzdesi (%)	CAS Numarası
4,22	delta-3-Carene	0,24	013466-78-9
4,68	alpha-Terpinene	0,17	000099-86-5
4,91	beta-Pyrone	0,30	070469-53-3
5,43	alpha-Pinene	71,60	000497-32-5
5,73	Camphene	8,13	000079-92-5
5,86	Verbenene	0,14	998041-88-1
6,46	beta-Pinene	3,14	018172-67-3
6,81	beta-Myrcene	1,20	000123-35-3
7,23	Sabinene	0,20	003387-41-5
7,43	3-Carene	1,55	013466-78-9
7,88	p-Cymene	0,71	000099-87-6
8,02	D-Limonene	9,11	005989-27-5
10,47	alpha-Pinene oxide	0,93	001686-14-2
10,77	p-Menth-1-ene	0,58	998072-16-0
12,26	trans-2-Caren-4-ol	0,58	014590-83-1
18,61	alpha-Terpinolene	0,49	000096-08-2
19,30	cis-p-mentha-1(7),8-dien-2-ol	0,27	998071-95-0
Karakterizasyon yüzdesi (%)		%99,30	

Çizelge 3. Ekstraksiyon reçinesi kolofanın GC-MS analiz sonuçları

Table 3. Results of GC-MS analysis of extraction resin rosin

RT (dk)	Bileşen	Bulunma yüzdesi (%)	CAS Numarası
47,77	Anthracene	3,97	068757-80-2
48,89	1-Terphenyl	5,12	061875-99-8
48,95	10-hexahydrophenanthrene	2,89	023963-77-1
50,52	Podocarpic acid	5,4	005947-49-9
50,99	Arenarine	3,75	998295-58-1
51,4	Naphthalene	2,63	301643-35-6
52,1	10,18-Bisnorabieta	3,71	006566-19-4
53,15	Dichloroquinoline	1,31	998331-93-7
53,95	beta-Carboline	2,87	998428-34-5
55,17	Isopimaric acid	2,33	019907-21-2
55,46	Phenanthrene	1,68	000483-65-8
56,12	3,5-Dimethoxystilbene	2,84	998296-86-9
58,11	Dihydroisopimaric acid	5,01	072088-13-2
58,24	Palusturic acid	2,75	998508-95-9
59,19	Dehydroabietic acid	26,25	001235-74-1
60,33	Abietic acid	10,06	000127-25-3
Toplam karakterizasyon yüzdesi (%)		%82,57	

3.2. Polimerizasyon reaksiyonunun verimi

Terebentin/ekstraksiyon reçine oranının, sıcaklığın ve TRFR polimerizasyon reaksiyonunun verimi üzerindeki etkisi araştırılmış ve sonuçlar Şekil 3'te sunulmuştur.

İlk deney grubunda terebentin/ekstraksiyon reçine oranının reaksiyon verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu grupta sıcaklık 40 °C'de sabit tutularak terebentin/ekstraksiyon reçine oranları 100/50, 75/75, 50/100, 25/125 olarak dört kademe değiştirilmiş ve en yüksek TRFR verimi 50/100 oranında %81,67 olarak (4 nolu reaksiyon) bulunmuştur. Literatürde daha önce yapılan fenolik modifikasyon çalışmasında terebentin/doğal reçine oranı 1/2 seçildiğinde %80 üzerinde verim elde edildiği bildirilmiştir (Locko ve Deshpande, 2003). TRFR-25/125 örneğinde olduğu gibi 1/2 oranından uzaklaşılırdıkça verimin düşmesi bunu destekler niteliktedir.

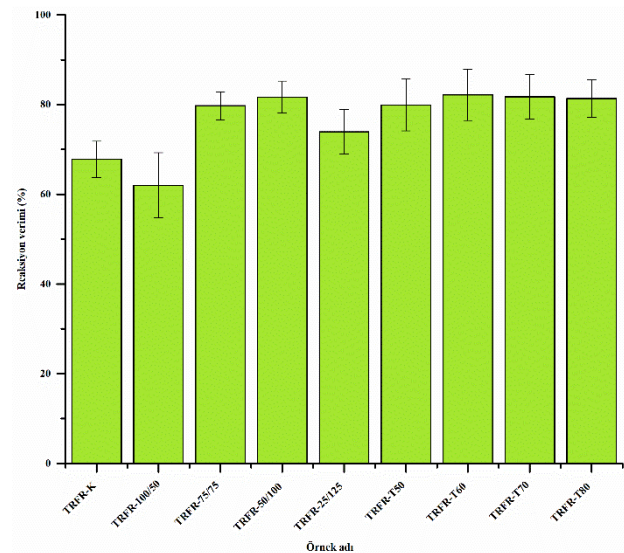
İkinci deney grubunda ise, terebentin/ekstraksiyon reçine oranı 50/100 olarak sabit alınıp sıcaklık değerleri 40°C, 50°C, 60°C, 70°C ve 80°C olarak artırılmıştır. Burada ise en yüksek

verim (%82,16) 60°C' de sentezlenen TRFR-T60 örneğinde (7 nolu reaksiyon) tespit edilmiştir. Fakat reaksiyon verimleri incelendiğinde ilk deney grubundaki 50/100 oranında 40°C' deki verimle, (%81,67), 60°C' deki verim (%82,16) arasında az bir fark (%1) olduğu görülmüştür.

Ayrıca, renk kalite sınıfının belirlenmesinde önemli bir parametredir. Sıcaklık artışı ile amber renginden uzaklaşıldığı ve ürün renginin koyulaştığı bilinmektedir (Genç, 2023). Bu sebeple terebentin/ekstraksiyon reçine oranı 50/100 ve 40°C olarak seçilmesinin enerji maliyeti ve ürün rengi bakımından daha uygun olduğu düşünülmektedir.

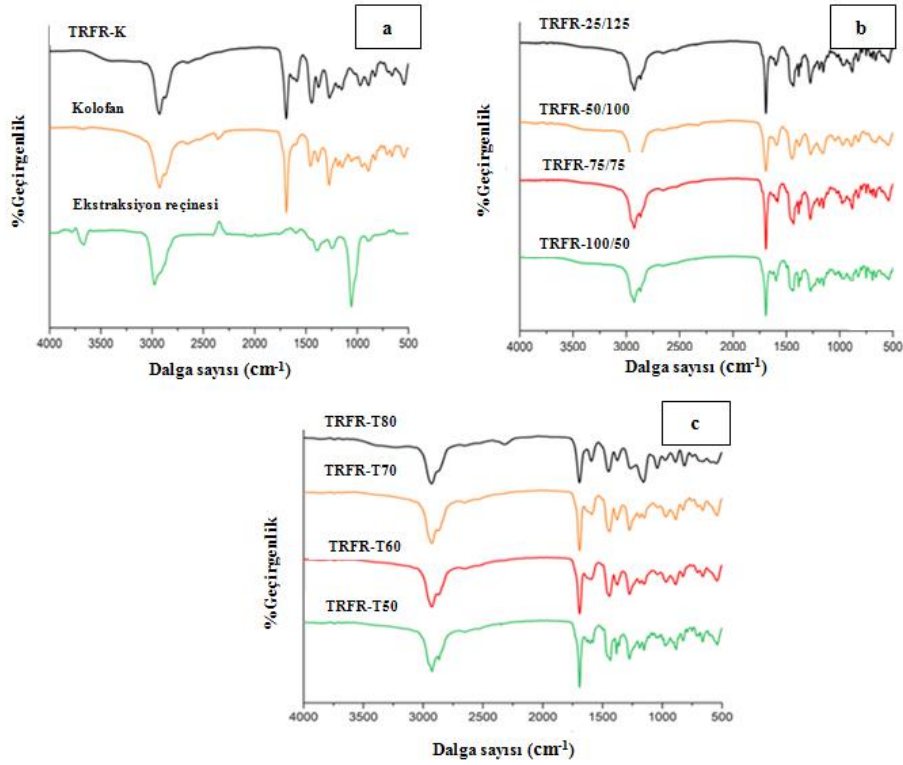
3.3. FTIR Analizi

TRFR örneklerinin FTIR spektrumları Şekil 4'te verilmiştir. TRFR örneklerinde 2935 cm⁻¹ ve 2870 cm⁻¹ görülen bantlar C-H gerilme bölgesinde (3000-2850 cm⁻¹) yer almaktadır. Bu bölgede görülen kuvvetli absorpsiyon pikleri, çoğunlukla hidrojen ve karbon atomları arasındaki gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. 1440 cm⁻¹ yakınında görülen bantlar CH₂ ve CH₃ varlığını göstermektedir. 1685 cm⁻¹ bandı C=O karbonil gerilme bölgesinde (1800-1650 cm⁻¹) yer almaktadır. Tüm reçinelerde ayırt edici bir bant olarak görülen güçlü bir karbonil (C=O) gerilmesidir. Parmak izi bölgesindeki (1550-650 cm⁻¹) bantlar her özel reçine için karakteristiktir (Martín-Ramos vd., 2018). 1440 cm⁻¹, 1267 cm⁻¹, 1147 cm⁻¹, 885 cm⁻¹ ve 835 cm⁻¹ pikleri bu bölgede yer almaktadır. Ayrıca 1147 cm⁻¹ 1267 cm⁻¹ bantları C-O gerilme titreşimine ve olası bir karboksilik asit varlığına işaret etmektedir. Öte yandan, kolofan ve TRFR örneklerinin FTIR spektrumlarının oldukça benzer olduğu görülmüştür. Analizler örnekler kürlenikten sonra gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kürlenmesi sırasında çapraz bağlanma reaksiyonunun meydana geldiği düşünülmektedir. Bu sebeple kolofanın FTIR spektrumları ile TRFR arasındaki fark net olarak görülemez (Angın, 2024).



Şekil 3. Farklı koşullar altında TRFR polimerizasyon reaksiyonunun verimi

Figure 3. Yield of TRFR polymerization reaction under different conditions



Şekil 4. a) TRFR-K, kolofan ve ekstraksiyon reçinesi; b,c) TRFR örneklerinin FTIR spektrumları
Figure 4. a) TRPR-K, rosin and extraction resin; b,c) FTIR spectra of TRPR samples

3.4 NMR Analizi

Yüksek verimle (%81,30) elde edilen TRFR-T80 örneğine ait tek boyutlu ^1H NMR spektrumu ve kimyasal kayma değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. C-H bağlarından kaynaklanan kimyasal kaymaların 0,64-2,40 ppm arasında olduğu tahmin edilmektedir. 4,62-5,86 ppm arasındaki kayma, çift bağlı karbon (C=C) atomlarına bağlı hidrojenlerin varlığını göstermektedir. 7,11 ppm civarındaki kayma aromatik halka yapısını temsil etmektedir. 8,07-12,26 ppm arasında meydana gelen pikler TRFR yapısındaki karboksilik asit ve ester bağlarına işaret etmektedir. Analiz sonuçlarına göre; TRFR yapısında C-H bağı yapan zincire bağlı yaklaşık 300 tane hidrojen atomu tespit edilmiştir. Bu durum, polimerleşmenin gerçekleştiğine işaret etmektedir. (Bicu ve Mustata, 1996).

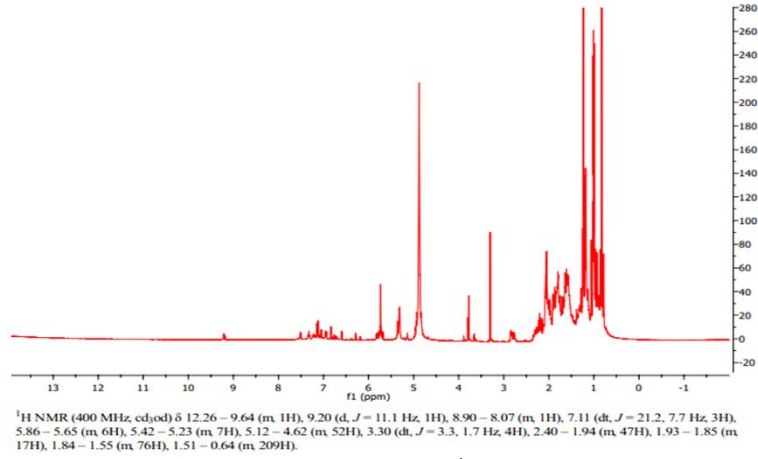
TRFR-T80 örneğinin ^{13}C spektrumu Şekil 6'da verilmiştir. Karbondan kaynaklanan kaymalar 13,09 ile 181,08 ppm arasında gözlemlenmiştir. 13,09 ile 37,37 ppm arasındaki pikler $-\text{CH}_3$ bağlarını temsil etmektedir.

TRFR'nin sentezinde reaksiyona fenolün dahili ile birlikte nihai üründe $-\text{OH}$ bağı yapısının olması beklenmektedir. Ayrıca, TRFR'nin sentezi Diels-Alder sentez reaksiyonu üzerinden yürüdüğü için nihai üründe halkalı bir yapı oluşması beklenmektedir. Bunu destekler şekilde, 51,1 ppm civarındaki kayma C-O bağından ve 120-145 ppm arasındaki kayma ise aromatik halka yapısına işaret etmektedir. 181,2 ppm civarında görülen $-\text{COOH}$ karboksilik asit yarılanmasının reaksiyon ortamında kalan eser miktardaki reçine asitlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Angin, 2024).

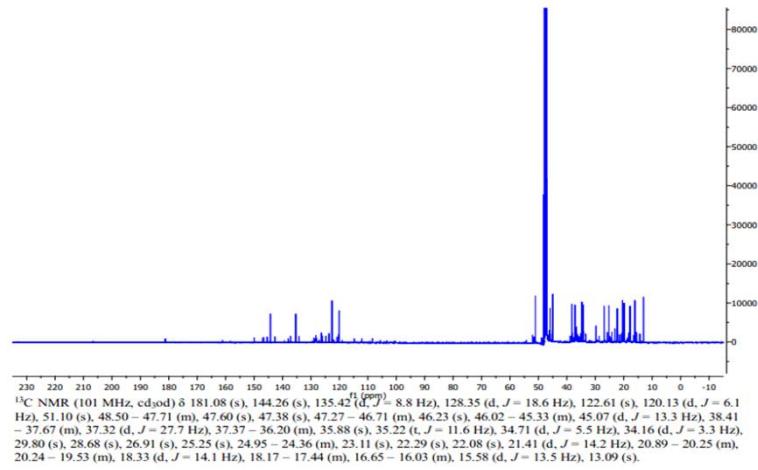
3.5 Asit ve sabunlaşma sayısı

TRFR örneklerinin asit ve sabunlaşma değerleri hesaplanarak kolofan değerleri ile karşılaştırılmıştır. (Şekil 7). Asit sayısı, reçine içerisinde bulunan serbest reçine asitleri miktarı ile doğrudan ilişkilidir. Polimerizasyon reaksiyonu sırasında fenolün kimyasal olarak reçine asitlerine bağlanmasıyla birlikte asitlikte düşüş beklenmektedir. Bu sebeple, TRFR numunelerinin kolofana göre daha düşük asit ve sabunlaşma değerine sahip olması arzu edilmektedir. Kolofanın asit ve sabunlaşma değerleri sırasıyla 167,32 ve 174,09 mg KOH/g olarak bulunmuştur. TRFR örneklerine bakıldığında örneklerin asit sayısı 90,79 ile 122,19 mg KOH/g arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca en yüksek sabunlaşma değeri 136,30 mg KOH/g TRFR-K nolu kontrol örneğinde en düşük ise 103,79 mg KOH/g olarak TRFR-T60 nolu örnekte bulunmuştur. Bu bulgular ışığında tüm TRFR örneklerinin kolofana göre daha düşük asit ve sabunlaşma değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu düşüş polimerizasyon reaksiyonunun başarılı olduğunun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bunu destekler şekilde, en düşük asit değerleri yüksek reaksiyon verimine sahip örneklerde (4 ve 9 nolu reaksiyon) bulunmuştur.

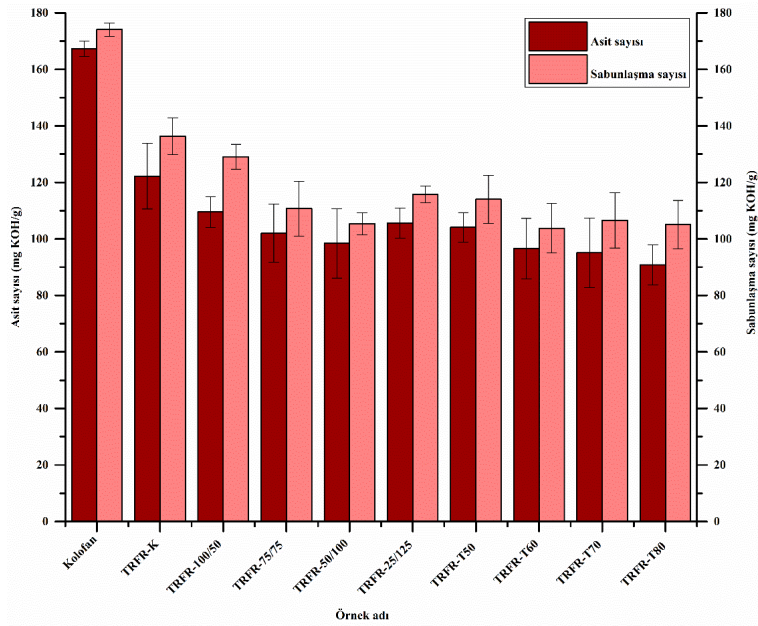
En yüksek asit değeri (122,19 mg KOH/g) TRFR-K (1 nolu reaksiyon) örneğinde bulunmuştur. Bu, reaksiyon ortamında sadece ham reçine olması ve terebentinin seyreltici etkisinin olmamasından kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmiştir. Reaksiyon veriminin artmasıyla birlikte asit sayısının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5. TRFR-T80 örneğinin ^1H NMR analizi
Figure 5. ^1H NMR analysis of TRPR-T80 sample



Şekil 6. TRFR-T80 örneğinin ^{13}C -NMR analizi
Figure 6. ^{13}C -NMR analysis of TRPR-T80 sample



Şekil 7. Kolofan ve TRFR örneklerinin asit ve sabunlaşma değerleri
Figure 7. Acid and saponification values of rosin and TRPR samples

3.6 Yumuşama noktası analizi (Halka ve Bilye)

Kolofan ve TRFR örneklerinin yumuşama noktaları Çizelge 4'te gösterilmiştir. TRFR örneklerinin yumuşama noktası 60°C ile 79°C arasında değiştiği görülmüştür.

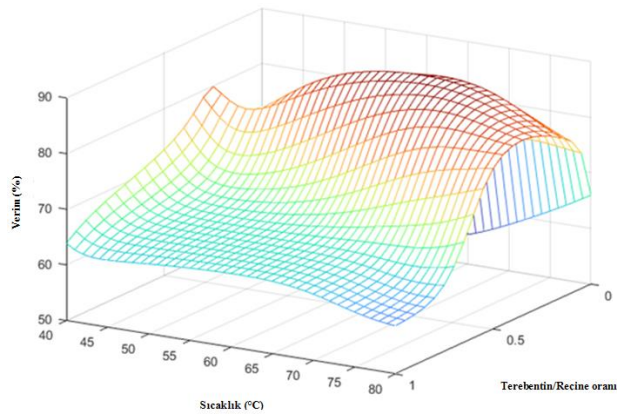
Çizelge 4'te görüldüğü üzere, 40 °C reaksiyon sıcaklığı ile elde edilen TRFR-50/100 örneğinin yumuşama noktası 79°C iken, 60 °C reaksiyon sıcaklığı ile elde edilen TRFR-T60 örneğinin yumuşama noktası 75°C olarak bulunmuştur. Yumuşama noktasında 4 °C'lik bir fark ürünün fiziko kimyasal özelliklerinde ve kullanım sahasında önemli farklılıklara neden olabilir. Bu açıdan da en uygun terebentin/ekstraksiyon reçine oranı, TRFR-50/100 (4 nolu reaksiyon) olarak gözükmetedir.

Reaksiyon veriminin düşük olduğu örneklerde (TRFR-K, TRFR-100/50 ve TRFR-25/125) yumuşama noktası 70°C'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Kolofana kıyasla yumuşama noktasında yaklaşık iki kat bir artış gözlemlenmiştir.

Literatürde, akma reçine kullanılarak üretilen politerpen reçinelerin yumuşama noktasının 80-120 °C arasında olabileceği belirtilmiştir. Kullanılan gum oleoresin içerisinde bulunan reçine asitlerine bakıldığında palustrik asit (%21,9), abietik asit (%46,7), neoabietik asit (%12,6), pimarik asit (%6) ve izopimarik asit (%5,8) asitlerinin baskın olduğu görülmüştür (Zhaobang, 1995). Pimarik ve izopimarik reçine asitlerinin dahil olduğu pimarik tip asitlerin; levopimarik, palustrik ve abietik asitlerinin dahil olduğu abietik tip reçine asitleriyle kıyaslandığında ısıya karşı daha kararlı oldukları bilinmektedir (Chen, 1992).

Çizelge 4. Kolofan ve TRFR örneklerinin yumuşama noktası
Table 4. Softening point of rosin and TRPR samples

Örnek adı	Yumuşama noktası (°C)
Kolofan	41,30
TRFR-K	64,70
TRFR-100/50	60,10
TRFR-75/75	72,00
TRFR-50/100	79,00
TRFR-25/125	69,70
TRFR-T50	70,80
TRFR-T60	75,85
TRFR-T70	73,60
TRFR-T80	76,20



Şekil 8. Sıcaklık ve terebentin/reçine oranının TRFR'nin reaksiyon verimine etkisi

Figure 8. The effect of temperature and turpentine/resin ratio on the reaction yield of TRPR

Ülkemizdeki kızılçam ve sahil çamı akma reçine (gum oleoresin) kolofanları ile ilgili yapılan bir çalışmada ise, sırasıyla abietik asit (%32,15-16,19), neoabietik asit (%22,05-13,66), pimarik asit (%16,44-27,13), izopimarik asit (%1,40-7,89) olarak bulunmuştur (Deniz vd., 2019).

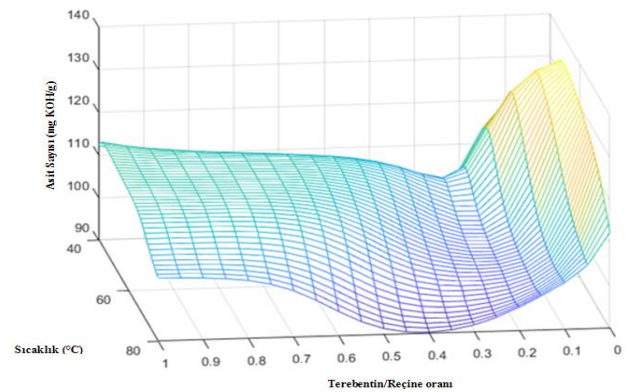
Çin kaynaklı akma reçine kolofan analizinde pimarik asitlerin toplamı (pimarik ve izopimarik asit) %11,8 iken, ülkemiz kaynaklı sahil çamı kolofanında pimarik asitlerin toplamı (pimarik ve izopimarikasit) %35,02 olarak tespit edilmiştir. Kızılçam kolofanındaki pimarik asitlerin miktarı ise, %19,75 olup, sahil çamı kolofanındaki pimarik tip reçine asitlerinin kızılçam kolofanı içerisindeki pimarik tip reçine asitlerine kıyasla yaklaşık iki katı olduğu görülmüştür (Deniz vd., 2019).

Çalışma kapsamında hammadde olarak kullanılan ekstraksiyon reçinesinin yapısında pimarik tip asitlere kıyasla, abietik tip reçine asitleri daha fazla bulunduğu için yumuşama noktasının bir miktar daha düşük çıkması beklenen bir durum olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla reçinenin elde edildiği kaynağın nihai ürünün yumuşama noktasına doğrudan etki ettiği düşünülmektedir (Genç, 2023).

3.7 YSA modellemesi

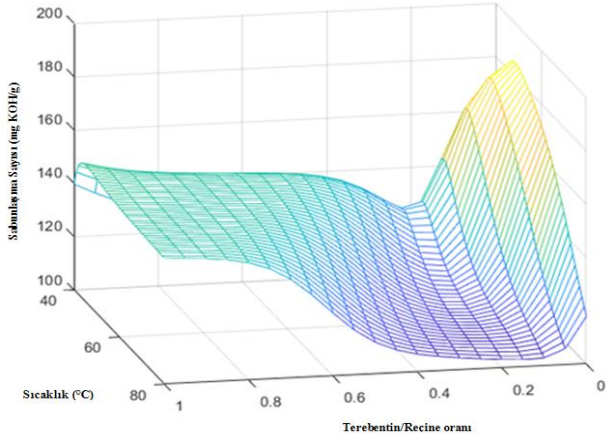
TRFR sentezinin modellemesi reaksiyon verimi, asit değeri, sabunlaşma değeri ve yumuşama noktasına göre gerçekleştirilmiştir. Yüzey etkisi grafikleri Şekil 8-11'de gösterilmiştir.

Şekil 8, sıcaklığın TRFR veriminde çok etkin bir parametre değil iken terebentinin optimum bir orana (~0,4) sahip olduğu ve bu oranın altı ve üstünde verimin düştüğünü göstermiştir. Terebentin/ekstraksiyon reçine oranının (Şekil 9-10) 0,6'dan büyük ve 0,4'ten küçük olduğu parsel alanlarında, asit ve sabunlaşma değerleri yüksek kalmıştır. Bu olay ideal stokiometrik orandan sapmaya bağlanmıştır. YSA modeli, istenen düşük asit ve sabunlaşma değeri için optimum terebentin/ekstraksiyon reçine oranının yaklaşık 1/2 olduğunu öne sürmüştür. Şekil 11'den anlaşılacağı üzere yumuşama noktasının yüzey etki grafiğinin verime benzer bir karakteristik özellik sergilediği gözlemlenmiştir.

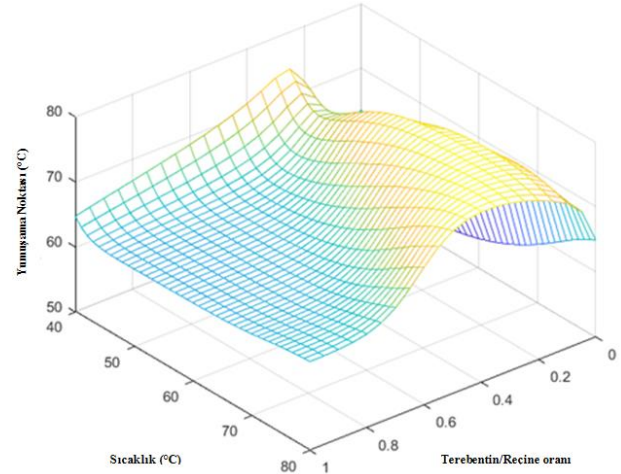


Şekil 9. Sıcaklık ve terebentin/reçine oranının TRFR'nin asit sayısına etkisi

Figure 9. The effect of temperature and turpentine/resin ratio on the acid number of TRPR



Şekil 10. Sıcaklık ve terebentin/reçine oranının TRFR'nin sabunlaşma sayısına etkisi
Figure 10. The effect of temperature and turpentine/resin ratio on the saponification number of TRPR



Şekil 11. Sıcaklık ve terebentin/reçine oranının TRFR'nin yumuşama noktasına etkisi
Figure 11. The effect of temperature and turpentine/resin ratio on the softening point of TRPR

4. Sonuç

Bu çalışmada, ekstraksiyon reçinesi fenol ile türevlendirilmiş ve yenilikçi bir polimerizasyon tekniği kullanılarak %82,16 verimle TRFR sentezi gerçekleştirilmiştir (7 nolu reaksiyon). Reaksiyon verimine terebentin/ekstraksiyon reçine oranı doğrudan etki ederken sıcaklığın etkisi daha az olduğu görülmüştür. FTIR ve NMR analiz sonuçları, TRFR'nin başarıyla sentezlendiğini göstermiştir. Asit ve sabunlaşma sayısı değerlerinin reaksiyon verimiyle doğrudan ilişkili olduğu görülmüştür. Reaksiyon veriminin yüksek olduğu örneklerde asit ve sabunlaşma sayısı daha düşük bulunmuştur. Terebentin/ekstraksiyon reçine oranının reaksiyon verimine benzer şekilde yumuşama noktası üzerinde de doğrudan etkisi olduğu görülmüştür. En yüksek yumuşama noktası 79°C olarak TRFR-50/100 örnekte tespit edilmiştir (4 nolu örnek). YSA modelleri, maksimum reaksiyon verimi için optimum terebentin/ekstraksiyon reçine oranının 0,4 ile 0,5 arasında olması gerektiğini ileri sürmüştür. Bu bulgular ışığında, terebentin/ekstraksiyon reçine oranının TRFR-50/100 ve sıcaklığın 40°C olarak alındığı 4 nolu reaksiyonun enerji maliyeti, reaksiyon verimi ve ürün rengi açısından en uygun olduğu kanaatine varılmıştır.

Açıklama

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 120O609) tarafından desteklenmiştir. Değerli katkı ve desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca NMR analizleri için Ege Üniversitesi EBİLTEM NMR Laboratuvarı'na, ekstraksiyon reçinesi ve teknik veri temini için İva Reçine Biyokütle Sanayi A.Ş. ve M. Emin Güle'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- Angın, N., 2024. Doğal terpen-rozin fenolik reçinenin çevreci bir yaklaşımla sentezi ve yapay sinir ağları ile modellenmesi. Doktora tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Angın, N., Ertuş, M., 2021. Farklı çözücü türlerinin ekstraksiyon reçinesinin verimi ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi. Turkish Journal of Forestry, 22(4): 439–443.
- Baydır, E., Aras, Ö., 2022. Artificial neural networks for the prediction of electrochemical etched micro channel dimensions. El-Cezeri, 9(3): 1112–1120.
- Beglinger, E., 1958. Distillation of resinous wood (Revised Report 496). Madison (WI): Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture, Forest Service.
- Bicu, I., Mustata, F., 1996. Crosslinked polymers from resin acids. Die Angewandte Makromolekulare Chemie: Applied Macromolecular Chemistry and Physics, 234(1): 91–102.
- Burroughs, S.G., 1939. U.S. Pat. 288, 390.
- Chen, G.F., 1992. Developments in the field of rosin chemistry and its implications in coatings. Progress in Organic Coatings, 20(2): 139–167.
- Deniz, İ., Aydın, İ., 2023. The effect of acid amount in acid paste in resin production from red pine (*Pinus brutia* ten.) and maritima pine (*Pinus pinaster* ait.) puan. 5th International Non-Wood Forest Products Symposium-2023, 26 - 28 September, Bartın, Türkiye, pp.52-53.
- Deniz, İ., Pekgözlü, K. A., Dönmez, İ.E., Karaoğlu, E., Yılmaz, B., Ceylan, E., Aydın, İ., 2019. Ülkemizde Üretilen Kolofanların Kimyasal Özellikleri. Kolofan ve Türevleri Çalıştayı, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul.
- Favvas, E.P., Kouvelos, E P., Papageorgiou, S.K., Tsanaktisid, C.G., Mitropoulos, A.C., 2015. Characterization of natural resin materials using water adsorption and various advanced techniques. Applied Physics A: Materials Science and Processing, 119(2):735–743.
- Fink, J.K., 2018. "Terpene Resins", Reactive Polymers: Fundamentals and Applications (Ed: Fink, J.K.), pp. 403–415.
- Genç, M., 2023. Ham reçineden AlCl₃ eşliğinde doğal terpen-rozin fenolik reçinelerin sentezi ve karakterizasyonu: Sıcaklığın etkisi. Yüksek Lisans tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.
- Hirano, K., Asami, M., 2013. Phenolic resins-100 years of progress and their future. Reactive and Functional Polymers, 73(2): 256–269.

- Komut, O., 2019. Odun dışı orman ürünlerine ilişkin paydaş farkındalığı: Orman köylüsü örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 20(1): 110–117.
- Liang, J., Chen, X., Wang, L., Wei, X., Mo, K., Xiong, Z., Liang, J., 2023. Influence of a novel resin tapping method on the resin yield and turpentine chemical composition of Masson pine (*Pinus massoniana*). *Industrial Crops and Products*, 204, 117377.
- Linlin, W., Xiaopeng, C., Youyan, L., Yuanjiao, Z., Zhangfa, T., 2005. Isolation and application of rosin acids. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 24(11): 1301
- Deshpande, A., Locko, G., 2003. Phenolic-modified rosin terpene resin. Google Patents. WO2003095514A2.
- Martín-Ramos, P., Fernández-Coppel, I.A., Ruíz-Potosme, N.M., Martín-Gil, J., 2018. Potential of ATR-FTIR spectroscopy for the classification of natural resins. *Biology, Engineering, Medicine and Science Reports*, 4(1): 03–06.
- Munkhbat, O., 2011. Thermally Cleavable Multiarm And Mikroarm Star Polymers Via Diels-Alder / Retro Diels-Alder Strategy. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Phun, L., Snead, D., Hurd, P., Jing, F., 2017. Industrial applications of pine-chemical-based materials. *Sustainable Polymers from Biomass*, (eds C. Tang and C.Y. Ryu), pp.151–179.
- Pradhan, S., Brooks, A. K., Yadavalli, V. K., 2020. Nature-derived materials for the fabrication of functional biodevices. *Materials Today Bio*, 7: 100065.
- Sarika, P. R., Nancarrow, P., Khansaheb, A., Ibrahim, T., 2021. Progress in bio-based phenolic foams: Synthesis, properties, and applications. In *ChemBioEng Reviews*, 8(0):6, 612–632.
- Tang, K., Zhang, A., Ge, T., Liu, X., Tang, X., Li, Y., 2021. Research progress on modification of phenolic resin. *Materials Today Communications*, 26: 101879.
- TS 4862, 1986. Çam Reçinesi - Kolofanda Asit Sayısının Tayini. TSE, Ankara
- TS 4863, 1986. Çam Reçinesi - Kolofanda Sabunlaşma Sayısının Tayini. TSE, Ankara
- TS 9070, 1991. Çam Reçinesi - Kolofanda Yumuşama Noktası Tayini. TSE, Ankara
- Tsanaktsidis, C.G., Favvas, E.P., Scaltsoyiannes, A.A., Christidis, S.G., Katsidi, E.X., Scaltsoyiannes, A.V., 2013. Natural resins and their application in antifouling fuel technology: Part I: Improving the physicochemical properties of diesel fuel using natural resin polymer as a removable additive. *Fuel Processing Technology*, 114: 135–143.
- Wilbon, P.A., Chu, F., Tang, C., 2013. Progress in renewable polymers from natural terpenes, terpenoids, and rosin. *Macromolecular Rapid Communications*, 34(1): 8–37.
- Yadav, B.K., Gidwani, B., Vyas, A., 2016. Rosin: Recent advances and potential applications in novel drug delivery system. *Journal of Bioactive and Compatible Polymers*, 31(2): 111–126.
- Yılmaz, B., Deniz, İ., Fazlı, H., Bekircan, O., Pranovich, A., Karaoğul, E., 2024. Sustainable thermoplastic road marking paint production from natural modified rosins. *BioResources*, 19(2): 2160–2178.
- Zhang, X., Ma, H., Qin, W., Guo, B., Li, P., 2022. Antimicrobial and improved performance of biodegradable thermoplastic starch by using natural rosin to replace part of glycerol. *Industrial Crops and Products*, 178, 114613.
- Zhaobang, S., 1995. Production and standards for chemical non-wood forest products in China. (No. CIFOR Occasional Paper no. 6). Bogor, Indonesia.

Investigation of the effects of heat treatment on medium density fiberboard (MDF)

Hikmet Yazıcı^{a,*}, Hüseyin Peker^b, Murat Özalp^c

Abstract: In particular, materials such as medium density fiberboard (MDF) have advantages such as high strength, homogeneous structure and easy processability, but disadvantages such as sensitivity to water and formaldehyde emission. To minimize these disadvantages and increase the durability of the material, methods such as heat treatment are used. This study was carried out to determine the effect of heat treatment at different temperatures on water swelling and formaldehyde emission values of MDF samples. Fiberboards with a thickness of 18 mm were used in the experiments. The fiberboard samples used in this study were kept at 120 °C, 150 °C and 180 °C for 2, 4 and 6 hours respectively. It was observed that water swelling and formaldehyde emission values decreased with increasing time and temperature in heat treatment.

Keywords: Heat treatment; MDF, Screw withdrawal, Swelling in water, Formaldehyde emission

Isıl işlemin orta yoğunlukta lif levha (MDF) üzerindeki etkilerinin araştırılması

Öz: Özellikle orta yoğunlukta lif levha (MDF) gibi malzemeler yüksek mukavemet, homojen yapı ve kolay işlenebilirlik gibi avantajlara sahip olmakla birlikte suya karşı hassasiyet ve formaldehit emisyonu gibi dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajları en aza indirmek ve malzemenin dayanıklılığını artırmak için ısıl işlem gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışma, farklı sıcaklıklarda ısıl işlemin MDF numunelerinin suda şişme ve formaldehit emisyonu değerleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 18 mm kalınlığında lif levhalar kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan lif levha numuneleri 120 °C, 150 °C ve 180 °C'de sırasıyla 2, 4 ve 6 saat bekletilmiştir. Isıl işlemde artan süre ve sıcaklıkla birlikte suda şişme ve formaldehit emisyon değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Isıl işlem, MDF, Vida çekme, Suda şişme, Formaldehit emisyonu

1. Introduction

Polymer bio-composites have garnered increasing research interest due to the utilization of naturally occurring lignocellulosic fibers and bio-based polymer matrices. The term "natural fiber" broadly refers to a variety of plant, animal, and mineral fibers (Clemons and Caulfield, 2010). Common natural fibers in the polymer composite industry include wood fibers and agro-based fibers such as bast fibers (e.g., hemp, jute, kenaf), leaf fibers (e.g., banana, pineapple, sisal), and seed fibers (e.g., oil palm, cotton) (Jawaid and Khalil, 2011). Medium-density fiberboard (MDF) is a wood-based material produced by pressing wood fibers combined with synthetic resin under high frequency and heat. The fibers are uniformly distributed, creating a hard, dense, and homogeneous board with smooth surfaces on both sides. MDF offers advantages in mass production due to its ergonomic properties compared to laminated boards, which reduces labor and time. MDF can be easily painted, coated with PVC paper, or printed with figures. It also holds screws and glue effectively. Specialized types of MDF, such as MDF-X (low formaldehyde content), MDF-H (water and

moisture resistant), and MDF-I (fire resistant), are available for applications requiring specific technical properties. Despite its advantages, the MDF industry has faced economic challenges, including fluctuations in the construction sector and difficulties in furniture production (Örs and Keskin, 2003). Research has investigated the hydrolysis of urea-formaldehyde (UF) resins to understand the mechanisms of formaldehyde release from cured UF resins and UF resin-bonded wood panels (Nessuer and Schall, 1970; Robitschek and Christensen, 1976; Myers and Koutsky, 1990; Elbert, 1995; Ringena et al., 2006). The use of different amine solutions in UF resins as formaldehyde scavengers has improved the physical and mechanical properties of MDF panels and reduced formaldehyde emissions (Boran et al., 2011). Studies have shown that MDF produced from black pine exhibits better physical and mechanical properties compared to MDF produced from European oak, Oriental beech, or a mixture of these species (Ayrilmis, 2000). MDF samples manufactured from 100 % beech and 100 % pine fibers, at various adhesive levels and densities, demonstrated that wood species, fiberboard density, and adhesive ratio significantly affect properties such as modulus of rupture,

^a Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, 67900, Zonguldak, Türkiye

^b Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, 08000 Artvin, Türkiye

^c Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Simav Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği 43500, Simav, Kütahya

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): hikmet.yazici@beun.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 02.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 21.08.2024



Citation (Atıf): Yazıcı, H., Peker, H., Özalp, M., 2024. Investigation of the effects of heat treatment on medium density fiberboard (MDF). Turkish Journal of Forestry, 25(4): 530-533.

DOI: [10.18182/tjf.1494660](https://doi.org/10.18182/tjf.1494660)

screw withdrawal resistance, and thickness swelling. The highest resistance was observed in MDF produced from beech fiber at a density of 720 kg/m³ and an adhesive level of 190 kg/m³, while the lowest resistance was found in pine fiber MDF at a density of 700 kg/m³ and an adhesive level of 180 kg/m³ (Kara and Ateş, 2015). Natural fibers often require modification to improve their bonding with polymer matrices. Various methods, including physical, chemical, and biological treatments, have been explored for fiber modification (Kaddami et al., 2006; Ishak et al., 2009; Asumani et al., 2012). However, these methods often face environmental and economic limitations. Recently, borax (BR) has been used as a green chemical treatment technique, either as a filler or through impregnation (Widiarto, 2005; Özalp, 2010; Cavdar et al., 2015). Moezzi-pour et al. (2018) found that electrical heating could reduce the negative effects on fibers compared to hydrothermal treatments, leading to improved mechanical properties of the newly produced MDF (Moezzi-pour et al., 2018). This study highlights the benefits of using recycled fibers to reduce formaldehyde emissions, which is advantageous for both environmental and human health concerns.

In this study, we investigated the effects of heat treatment on water swelling and formaldehyde emission in MDF. The results were compared with non-heat-treated fiberboards to evaluate both positive and negative changes.

2. Material and method

2.1. Material

Medium density fiberboard (MDF) with a thickness of 18 mm was used in all experimental studies.

2.2. Method

2.2.1. Heat treatment

Fiberboards with a thickness of 18 mm, sourced from two different companies, were subjected to heat treatment in a drying oven at temperatures of 120 °C, 150 °C, and 180 °C for durations of 2, 4, and 6 hours.

2.2.2. Thickness swelling

Experiment and control samples, cut to a size of 75 x 75 ±1 mm in accordance with TS EN 317 standards, were subjected to heat treatment at 120 °C, 150 °C, and 180 °C for 2, 4, and 6 hours. After heat treatment, the samples were immersed in water for 2 and 24 hours. The increase in thickness of the samples was measured, and the thickness swelling rate was calculated. Prior to the experiment, specimens were conditioned in an acclimatized chamber at 20 ± 2 °C and 65 ± 5% relative humidity until they reached a constant mass (TS EN 317, 1996). The immersion process was carried out in clean, static water with a pH of 7 ± 1 and a temperature of 20 ± 1 °C, ensuring that the samples did not come into contact with each other and that the base and edges of the water tank were vertical. Water was changed after each experiment. After the immersion process, the samples were removed from the water, excess water was drained, and thicknesses were re-measured from the initial measurement point. Thickness swelling was calculated using the following equation:

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (1)$$

Where;

G_t: Thickness increase (%)

t₁: Thickness of experiment sample before immersing to water as mm

t₂: Thickness of experiment sample after immersing to water as mm

2.2.3. Formaldehyde emission

Formaldehyde emission measurements were conducted in the laboratory at Gebze Polisan Chemistry. The heat treatment of specimens was performed at temperatures of 120 °C, 150 °C, and 180 °C for durations of 2, 4, and 6 hours. Formaldehyde emission was measured using the perforator method according to TS 4894 EN 120 standards (TS EN 4894 120, 1999). This method involves extracting free formaldehyde from the board samples, which are boiled in toluene. The free formaldehyde is then transferred to distilled water, and its concentration in the aqueous solution is measured. The emission amount is expressed as a proportion of the dry board weight. The formaldehyde emission was calculated using the following formula:

$$F = \frac{(A_s - A_b) \cdot f \cdot (100 + R \cdot V)}{M} \quad (\text{mg}/100 \text{ g complete dry board}) \quad (2)$$

Here;

A_s: Absorbance of extraction solution (nm), A_b: Absorbance of blank test (nm)

f: Calibration Curve Factor, R: Humidity amount of board (%)

M: Sample Weight (g), V: Volume of flask (cm³)

The perforator test device used for measuring formaldehyde emissions is shown in Figure 1.



Figure 1. Perforator test device

3. Result and discussion

3.1. Thickness swelling results

At the end of a 2-hour water immersion period, the swelling results for specimens from Companies A and B, which were heat-treated at 120 °C, 150 °C, and 180 °C for 2, 4, and 6 hours, are presented in Table 1.

When these results were discussed, it was seen increase in thickness swelling in all heat-treated samples of fiber boards produced by A company compared with control value. At the end of waiting time of 24 hours, swelling in water results of specimens, which were waited at 120- 150- 180 °C for 2- 4- 6 hours, were given in Table 2.

The results show an increase in thickness swelling for all heat-treated fiber board samples from both companies compared to the control values.

3.2. Formaldehyde emission values

Effects of heat treatment on formaldehyde emission values were given in Table 3.

Table 1. Swelling results at the end of waiting for 2 hours in water (%)

Heat treatment (°C)	Time (Hours)	Non-heat treated	Standard deviation	Max. value	Min. value	Average value (%)
120	2		1.11	6.5	3.72	4.72
	4		0.64	6.11	4.61	5.42
	6		0.46	5.72	4.55	5.23
150	2	18.7	0.35	5.61	4.72	5.21
	4		0.26	5.77	5.16	5.53
	6		0.27	5.44	4.72	5.01
180	2		0.30	5.70	5.11	5.38
	4		0.34	4.88	4.05	4.27
	6		0.67	5.11	3.61	4.37

Table 2. Swelling results at the end of waiting for 24 hours in water (%)

Heat treatment (°C)	Time (hours)	Non-heat treated	Standard deviation	Max. value	Min. value	Average value (%)
120	2		1.18	21.83	18.77	20.15
	4		0.70	22.88	21.11	22.13
	6		0.52	20.77	19.61	20.15
150	2	18.47	0.65	23.27	21.44	22.3
	4		0.40	22.88	22.00	22.44
	6		0.22	22.05	21.44	21.68
180	2		0.54	24.11	22.61	23.26
	4		1.85	23.33	18.77	21.14
	6		1.99	23.5	18.27	21.58

Table 3. Formaldehyde emission results (mg/100g)

Heat treatment (°C)	Time (hour)	Standard deviation	Max. value (%)	Min. value (%)	Average value
120	2	0.56	19.20	18.03	18.75
	4	0.60	19.17	18.00	18.68
	6	0.38	18.40	17.45	18.05
150	2	0.29	17.57	16.90	17.18
	4	0.40	17.27	16.43	16.81
	6	0.35	17.17	16.25	16.71
180	2	0.45	16.75	15.48	16.08
	4	0.41	15.75	14.72	15.29
	6	0.53	16.40	15.06	15.54

The formaldehyde emission values of specimens heat-treated at 120 °C did not show significant reductions on average, and the heat treatment at 120 °C had minimal effect on formaldehyde emission. However, specimens heat-treated at 150 °C exhibited a noticeable decrease in formaldehyde emission, with the reduction becoming more pronounced with increased treatment time. Similarly, heat-treated specimens at 180 °C also showed decreased formaldehyde emissions, with a significant effect observed with increased heat treatment time. Overall, increasing the temperature and duration of heat treatment led to a reduction in formaldehyde emissions. The optimal temperature for minimizing formaldehyde emissions was found to be 180 °C, with increasing treatment time resulting in further reductions in formaldehyde levels.

To minimize formaldehyde emissions, the maximum temperature is 180 °C. Data collected at 120 °C and 180 °C show that formaldehyde emissions decrease with increasing heat treatment temperature and time.

4. Conclusions

In this study, we investigated the effects of heat treatment on Medium Density Fiberboard (MDF) samples, focusing on their swelling behavior in water and formaldehyde emission levels. The heat-treated MDF samples were subjected to different temperatures and durations to assess their performance. Specifically, the samples were treated at temperatures of 120 °C, 150 °C, and 180 °C for periods of 2, 4, and 6 hours.

The swelling experiments revealed that, after 2 and 24 hours of immersion in water, all heat-treated MDF samples exhibited increased thickness swelling compared to the control samples that were not heat-treated. This suggests that while heat treatment may enhance some properties, it also adversely affects the dimensional stability of MDF in water.

Regarding formaldehyde emissions, the results were more favorable. The MDF samples heat-treated at 120 °C, 150 °C, and 180 °C for varying durations (2, 4, and 6 hours) all met the relevant standards for formaldehyde emissions. Importantly, the heat treatment led to a reduction in formaldehyde emissions compared to the untreated control samples. This reduction is significant because formaldehyde is a well-known health hazard, and its decreased presence in the treated samples indicates an improvement in air quality and safety.

The technological properties of MDF, which consists of at least 80% vegetable fibers, are generally comparable to those of solid wood. However, the study highlights a trade-off between the benefits and drawbacks of heat treatment. While heat treatment was effective in reducing formaldehyde emissions—thereby mitigating a health risk—it also negatively impacted the swelling behavior of the MDF. This indicates that while higher temperatures and longer treatment times can be beneficial for reducing formaldehyde, they may simultaneously compromise the material's water resistance and dimensional stability.

Overall, the findings suggest that heat treatment can improve the safety profile of MDF by reducing harmful formaldehyde emissions, but careful consideration must be given to its effects on the material's physical properties.

References

- Asumani, O. M. L., Reid, R.G., Paskaramoorthy, R., 2012. The effects of alkali-silane treatment on the tensile and flexural properties of short fibre non-woven kenaf reinforced polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(9): 1431–1440.
- Ayrilmis, N., 2000. The effect of tree species on technological properties of MDF. MSc Thesis, Istanbul University, Institute of Natural Sciences, Turkey.
- Boran, S., Usta, M., Gümüşkaya, E., 2011. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(7): 674–678.
- Cavdar, A. D., Mengeloğlu, F., Karakus, K., 2015. Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement*, 60: 6–12.
- Clemons, C.M., Caulfield, D.F., 2010. Functional fillers for plastics. In: *Natural Fibers*, John Wiley & Sons, Weinheim, pp. 150-556.
- Elbert, A. A., 1995. Influence of hardener systems and wood on the formaldehyde emission from urea-formaldehyde resin and particleboards. *Holzforschung*, 49(4):358-362.
- Ishak, M. R., Leman, Z., Sapuan, S. M., Salleh, M. Y., Misri, S., 2009. The effect of sea water treatment on the impact and flexural strength of sugar palm fibre reinforced epoxy composites. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*. 4(3): 316–320.
- Jawaid, M., Khalil, H.P.S.A., 2011. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1): 1–18.
- Kaddami, H., Dufresne, A., Khelifi, B., Bendahou, A., Taourirte, M., Raihane, M., Issartel, N., Sautereau, H., Gerard, J-F, Sami, N., 2006. Short palm tree fibers–Thermoset matrices composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(9): 1413–1422.
- Kara, M.E., Ateş, S., 2015. Effects of Some Production Variables on MDF quality. In: XXVIIth International Conference Research Furniture Industry, 17-20 September, s.74-80 Ankara.
- Moezziour, B., Abdolkhani, A., Doost-hoseini, K., Ahmad Ramazani, S. A., Tarmian, A., 2018. Practical properties and formaldehyde emission of medium density fiberboards (MDFs) recycled by electrical method. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76: 1287–1294.
- Myers, G.E., Koutsky, J.A., 1990. Formaldehyde liberation and cure behavior of urea-formaldehyde resins. *Holzforschung*, 44(2), 117–126.
- Nessuer, H., Schall, W. 1970. Experiments for the determination of hydrolysis phenomena in particleboards. *Holzforschung Holzverwert*, 22(6), 116-120.
- Örs, Y., Keskin, H., 2003. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Gazi Yayınevi, Ankara.
- Özalp, M., 2010. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of medium density fiberboard (MDF). *European Journal of Wood and Wood Products*, 68: 117–119.
- Ringena, O., Janzon, R., Pfizenmayer, G., Schulte, M., Lehnen, R., 2006. Estimating the hydrolytic durability of cured wood adhesives by measuring formaldehyde liberation and structural stability. *Holz als Roh-und Werkst.*, 64(4): 321–326.
- Robitschek, P., Christensen, R. L., 1976. Degradation phenomena in urea-formaldehyde resin-bonded particleboard. *Forest Products Journal*, 26(2): 43-46.
- TS EN 317, 1999. Particleboards and fibreboards determination of swelling in thickness after immersion in water. TSE, Ankara.
- TS 4894 EN 120, 1999. Wood based sheets boards determination of formaldehyde content, TSE, Ankara.
- Widiarto, S., 2005. Effect of borax on mechanical properties and biodegradability of sago starch—poly (vinylalcohol) blend films. *Jurnal Sains and Teknologi*, 2: 151–157.

Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru-insan çatışması

Bedirhan Eker^a, Yasin Ünal^{b,*}, Ahmet Koca^c

Öz: Avrasya su samuru (*Lutra lutra* Linnaeus, 1758) Dünya’da yayılış gösteren 13 su samuru türünün en yaygın olanıdır. Sansargiller (*Mustalidae*) familyasına mensup yarı sucul tek türümüz ve nokturnal bir tür olarak bilinmektedir. Bugün ki yayılış haritası birçok ülkeyi ve bölgeyi kapsamaktadır. IUCN (Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği) kriterlerine göre 2000’li yılların başında “Vulnerable (duyarlı: neslinin doğada tükenme riski yüksek olan)” statüsündeyken, 2004 yılından itibaren “Near Threatened (tehdiye yakın: yakın gelecekte tehdit altında olarak tanımlanma olasılığı olan)” olarak değiştirilmiştir. Ülkemizde de bu tür Near Threatened (NT), yani tehdiye yakın kategorisinde yer almaktadır. Ekolojik gösterge türü olarak da bilinen su samurunun biyolojik çeşitlilik içerisindeki yerini koruyarak geleceğe aktarılması önemlidir. Su samuru, BERN Sözleşmesi kesin koruma altına alınan fauna türleri listesinde yer almaktadır. Mevcut popülasyonlar yaygın olmasına rağmen, özellikle Avrupa’da, Avrasya su samuru sayısı çevre kirliliği ve habitat kaybı gibi nedenlerden dolayı büyük düşüş göstermektedir. Yaban hayatı, bir ekosistemin durumu hakkında bilgi sağlayan önemli bir ekolojik göstergedir ve bir alanda yaban hayatının varlığı, bir alandaki yapısal eksiklikler, temizlik ve kirlilik hakkında bilgi verirken, ekosistem başarısını ortaya koyar. Teknoloji, nüfus artışı, hava ve su sistemlerinin kirlenmesi, orman yangınlarının çıkması, tarımsal amaçlı kullanılan su zengini alanların kuruması, kullanılan tarım ilaçlarının kimyasal etkileri ve bunların neden olduğu kirlilik orman ekosistemlerini ve su sulak oldukça olumsuz etkilemektedir. Bu faktörlerin su samuru, türleri ve habitatları üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için gerekli tüm önlemler alınmalıdır. Bu makalede IUCN Kriterlerine nesli tehlike altında bulunan Avrasya su samuru popülasyonunun ekolojik önemi, Köprülü Kanyon Milli Parkında karşılaştığı tehlikeler üzerine elde edilen bulgular ve koruma stratejileri paylaşılacaktır. Su samuru ve sulak alanların sürdürülebilir olması için, dünya çapında kabul görmüş entegre kontrol faaliyetinin desteklenmesi için halkın ve gerekli kamu kuruluşlarının bilinçlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Su samuru, *Lutra lutra*, Köprülü Kanyon, Yaban hayatı, Envanter

Eurasian otter-human conflict in Koprulu Canyon National Park

Abstract: The Eurasian otter (*Lutra lutra*) is the most widespread of the 13 otter species distributed in the world. It is known as our only semi-aquatic species belonging to the *Mustalidae* family and a nocturnal species. Its current distribution map covers many countries and regions. According to the IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) criteria, it was in the status of “Vulnerable (high risk of extinction in nature)” in the early 2000s, but since 2004 it has been changed to “Near Threatened (near threatened: likely to be defined as threatened in the near future)”. In our country, this species is also in the Near Threatened (NT) category. It is important to preserve the place of the otter, also known as an ecological indicator species, in biodiversity and transfer it to the future. The otter is on the list of fauna species under definitive protection of the BERN Convention. Although current populations are widespread, especially in Europe, the number of Eurasian otters is in great decline due to reasons such as environmental pollution and habitat loss. Wildlife is an important ecological indicator that provides information about the state of an ecosystem, and the presence of wildlife in an area provides information about structural deficiencies, cleanliness and pollution in an area, while revealing ecosystem success. Technology, population growth, pollution of air and water systems, forest fires, drying of water-rich areas used for agricultural purposes, chemical effects of pesticides used, and the pollution caused by these have a very negative effect on forest ecosystems and water wetlands. All necessary precautions should be taken to minimize the negative effects of these factors on otters, their species and habitats. In this article, the ecological importance of the Eurasian otter population, which is endangered according to IUCN Criteria, the findings obtained on the dangers it faces in Köprülü Canyon National Park and protection strategies will be shared. It is aimed to raise awareness of the public and necessary public institutions to support integrated control activities accepted worldwide for the sustainability of otters and wetlands.

Keywords: Otter, *Lutra lutra*, Koprulu Canyon, Wildlife, Inventory

1. Giriş

Biyçeşitlilik, canlıların tüm özelliklerini içinde barındıran, canlıların ayrıklığını ve değişkenliğini, içinde yaşadıkları karışık ekolojik yapılar ile türler arasında ve türün içinde benzer ve farklı habitat çeşitlerini yapısında barındıran, doğal dünyanın zenginliğini ve karmaşıklığını

ifade eder. Farklı türlerin bir arada bulunması, ekosistemlerin işleyişini destekler ve insanlar için besin, ilaç ve diğer kaynaklar sağlar (Dangerfield ve Pik, 1999; Aydoğdu ve Gezer, 2006). Çağlar boyunca insan hayatının devamlılığında vazgeçilmez önemi olan canlı ve cansız kaynakların artan nüfus, gelişen tarım ve ekonomi ile bilinçsizce kullanılması; binlerce yılda oluşan ekolojik dengenin giderek bozulmasına

^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta
^b Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta
^c Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Isparta

* **Corresponding author** (İletişim yazarı): yasinunal@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 03.10.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 12.12.2024



Citation (Atf): Eker, B., Ünal, Y., Koca, A., 2024. Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru-insan çatışması. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 534-539.
DOI: [10.18182/tjf.1560761](https://doi.org/10.18182/tjf.1560761)

ve birçok canlı türünün neslinin tükenmesine neden olmaktadır. İnsanoglu 1600 yılından bu yana etkin avlanma baskısı ve doğayı bilinçsizce kullanması sonucunda 170 kuş ve 255 memeli hayvan türünü ortadan kaldırmıştır. (Kızıroğlu, 1979). Yaban hayatı, ekolojik sistemin var olan durumu hakkında bilgi vermesi bakımından önemli bir ekolojik indikatör olarak kabul edilir. Korunan alanlardaki yaban hayvanlarının mevcudiyeti, o alanın yapısal bozukluğu, hakkında bilgi edinmemizi sağlar ve ekolojik sistemin başarısını ortaya koymaktadır (Oğurlu, İ., 2001). Endüstri inkılabından sonra milletlerin refah seviyeleri ve hayat kalitelerinin artması, sanayi alanındaki gelişmelerle birlikte insanların çevresel ihtiyaçları artmış, bu iki durum insanogluunun yaşadığı ekosistemi olağanüstü bir şekilde tüketmeye, fosil yakacak kullanımı, arazilerin bilinçsizce kullanımı, orman alanların tahrip edilmesi gibi, ekosistemde doğal olmayan yıkımların oluşmasına sebep olmuştur. Bu durum dengeli bir ekosistemin temelini oluşturan, medeniyetlerin gelişmesinde ana gösterge olan, birçok devletin ekonomik gelinmesine fayda sağlayan ve sürdürülebilir geleceğin güvencesi olan biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkilemektedir. (Derman vd., 2013). Ülkemizin kırsal ve ormanlık bölgelerinde yaşayan insanlar, doğayla iç içe bir hayat sürdükleri bilinmektedir. Yerel halkın doğal alanlara olan etkisi yadsınamaz bir gerçeklik olmakla birlikte, doğal alanların sürdürülebilirliği için yerel halkın desteği ve katılımı şarttır. Milli parklar gibi korunan alanlar, doğal güzellikleri ve biyolojik çeşitliliği korumak için yasal olarak belirlenir. Ancak bu alanların oluşturulması, yakın çevredeki yerel halkın yaşam tarzını ve gelir kaynaklarını etkileyebilir. Örneğin, tarım, hayvancılık, avcılık, ormancılık gibi faaliyetler kısıtlanabilir veya yasaklanabilir. Bu da yöre insanların ekonomik ve sosyal sorunlarla karşılaşmasına neden olabilir. Bu etkileşimin tarafları olan insan ve yaban hayvanları, arasında çıkar çatışmaları ortaya çıkabilmektedir (Alkan, 2009). Bu sorunun yaşandığı korunan alanlardan birisi de Köprülü Kanyon Milli Parkı'dır. Köprülü Kanyon Milli Parkı çeşitli ve değerli bir faunaya sahiptir. Ancak bazı yaban hayvanı türleri insan faaliyetleri nedeniyle yaşam alanlarını kaybetmektedir. Bu durum hem biyolojik çeşitliliği hem de ekosistem hizmetlerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle milli parklarda insan-yaban hayatı çatışmalarının nedenleri, boyutları ve sonuçları iyi belirlenmeli ve uygun yönetim stratejileri geliştirilmelidir. İnsan-yaban hayatı çatışmalarını azaltmak için farklı yöntemler uygulanabilir. Ancak bu yöntemlerin etkinliği çatışmanın özelliklerine göre değişebilir. Bu yüzden her bir çatışma durumu için ayrı ayrı analiz yapmak ve en uygun yöntemi seçmek gerekir. Bu çalışma, Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru-insan çatışmasının nedenlerini ve sonuçlarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Korunan alanlarda yaşayan insanlar ve hayvanlar arasındaki etkileşimlerin nasıl yönetilebileceği konusunda önemli bir altlık oluşturacaktır.

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada, konuyla ilgili literatür taraması, önceki araştırmaların sonuç ve raporları, arazi çalışmaları için gerekli ekipmanlar, fotokapan, GPS, ses ve video kaydedici gibi araçlar kullanılmıştır. Arazide elde edilen verilerin değerlendirilmesi için ofis ortamında dizüstü bilgisayar ve Excel programı kullanılmıştır. Çalışma alanını belirlemek için uydu ve bunları işleyebilecek yazılımlar da çalışma kapsamında kullanılmıştır. Araştırma alanı olan Köprülü

Kanyon Milli Parkı ve Köprülü Kanyon Milli Parkının Türkiye'deki lokasyonu (Şekil 1) verilmiştir.

2.1. Çalışma alanının özellikleri

Köprülü Kanyon Milli Parkı, Akdeniz Bölgesi'nde, Antalya ili sınırları içerisinde yer almaktadır. 1973 yılında milli park olarak ilan edilmiştir. Milli parkın yüz ölçümü 357.190 dekadır. Köprülü Kanyon'un kaynak değerini oluşturan Köprü Çayı, Bolasan Köyü ile Beşkonak arasında meydana getirdiği yarma vadi ile Türkiye'nin en uzun kanyonlarından biridir. Bu kanyon, 14 km uzunluğa sahiptir. 37° 87' 36"- 37° 25' 11" kuzey enlemleri ile 31° 03' 31"- 31° 14' 00" doğu boylamları arasında yer almaktadır (Çetinkaya, 2002). Milli park içinde yükseklik 110 metreden başlayarak 2505 metreye kadar çıkmaktadır. Bu yükseklik farkının yanı sıra alandaki jeolojik yapı ve iklimsel özellikler nedeniyle Köprülü Kanyon Milli Parkı oldukça büyük bir habitat çeşitliliğine sahiptir. Alanın memeli faunası ise yaban keçisi (*Capra aegagrus* Erxleben, 1777), kirpi (*Erinaceus europaeus* Linnaeus, 1758), yaban tavşanı (*Lepus europaeus* Pallas, 1778), kaya sansarı (*Martes foina* Erxleben, 1777), porsuk (*Meles meles* Linnaeus, 1758), kızıl sincap (*Sciurus anomalus* Linnaeus, 1758), yaban domuzu (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), tilki (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) ve ev faresi (*Mus musculus* Linnaeus, 1758) türlerini içermektedir (Soyumert, 2004).

2.2. Ön değerlendirme altlıkların oluşturulması

Bu çalışmada, su samuru popülasyonlarının durumu, habitat tercihi ve koruma stratejileri araştırılmıştır. Literatür taraması ile su samurunun ekolojik ve biyolojik özellikleri, günlük aktiviteleri ve beslenme alışkanlıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Dünyadaki benzer çalışmaların sonuçları da değerlendirilerek, çalışma alanındaki su samuru popülasyonlarının sayısı, dağılımı ve habitat yapısı belirlenmeye çalışılmıştır.

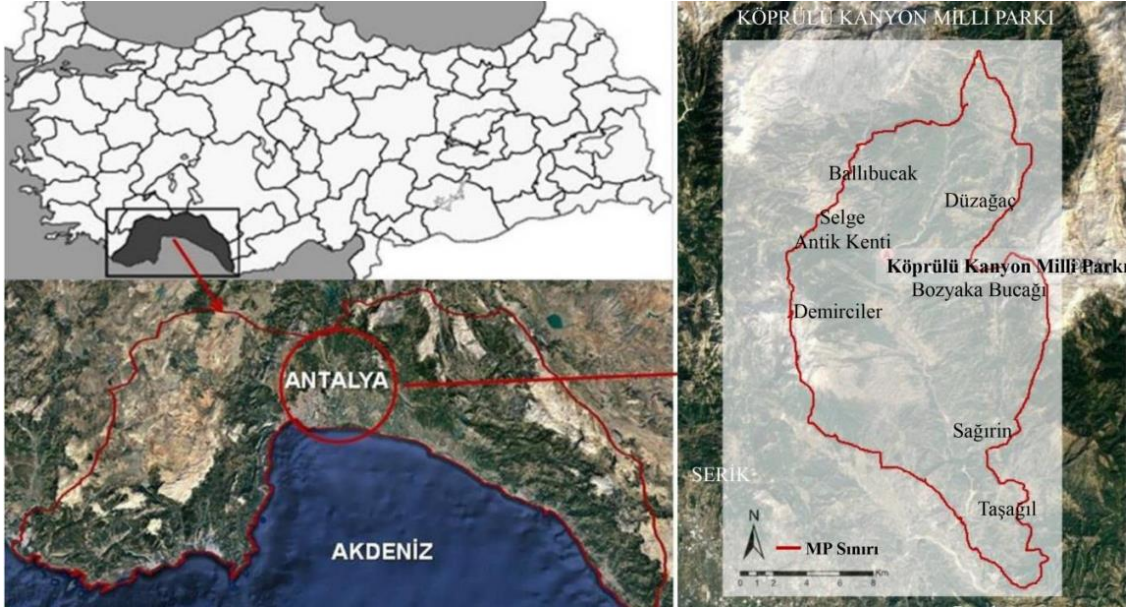
2.3. Biyopolitik verilerin elde edilmesi

Biyopolitik verilerin elde edilmesi için gerçekleştirilen çalışmalarda, Köprülü Kanyon Milli Parkı ve çevresinde yaşayan insanlarla yaptığımız görüşmeler sonucunda, bölgedeki yerleşim ve sektörlerin gelir kaynakları, doğal kaynak kullanımları, bölgeye yönelik projeler ve destekler, sosyal yapılar hakkında bilgi edinilmiştir.

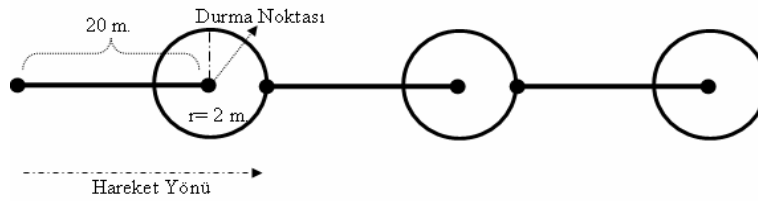
2.4. Var-yok iz ve belirti tarama yöntemi

Köprülü Kanyon Milli Parkında yaban hayvanı popülasyonlarının belirlenmesi amacıyla var-yok, iz-belirti çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Var-yok taraması sonuçlarına göre her bir tarama hattının, hareket yönü ve taramanın başlatıldığı yükseklik, türlere ait iz, dışkı, tüy kıl vb. belirtiler var-yok kartına kaydedilmiştir. Çalışma sırasında yaban hayvanı türlerinin varlığı hakkında fikir edinebilmek amacıyla, Oğurlu (2001)'nun tabakalı örnekleme metodu kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışma 20'şer m aralıklarla r=200 cm yarıçapında toplam 102 deneme hattında (sayım hattı uzunluğu: 200 m) ve toplam '102*20=2 040*20' adet pilot alanda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu (Google Earth 2024'ten yararlanılarak yapılmıştır)
Figure 1. Location of the study section (made using Google Earth 2024)



Şekil 2. Var-yok iz ve belirti tarama metodu uygulama düzeni (Oğurlu, 2004)
Figure 2. Presence-absence trace and symptom screening method application order (Oğurlu, 2004)

2.5. Fotokapan istasyon yöntemi

Fotokapan istasyon yöntemi ile su samuru popülasyonlarını belirlemek amaçlanmıştır. 15 adet istasyon ilk olarak 01.05.2023 çalışma sahasına yerden 30-50 cm yükseklikte kurulmuştur toplam 6 ay boyunca çekim yapılmıştır. Çalışma sahası sistematik örnekleme için uygun olmadığından, fırsat noktası yöntemi tercih edilmiştir. Her fotokapan istasyonunun koordinatları kaydedilmiş ve coğrafi bilgi sistemleri ile haritalanmıştır. Fotokapan çalışmasına başlamadan önce alanda iz-dışı araştırması yapılmıştır. Fotokapan istasyonları her ay kontrol edilmiş, fotokapanların çalışıp çalışmadığı test edilmiştir. Görüntüler kaydedilip depolanmış, hafıza kartları ve piller değiştirilmiş, ayarlar yenilenmiştir. Fotokapanların tarih ve saat ayarları kurulum sırasında yapılmıştır. Fotokapanlarda arıza olması durumunda, fotokapan istasyonu yenilenmiş veya uygun bir yere taşınmıştır.

3. Bulgular

3.1. Var-yok çalışmasında tespit edilen türler

Antalya Köprü Çayı'nda gerçekleştirilen çalışmalarda, 102 farklı noktada var-yok, iz-belirti taraması yapılmış türlerin dağılımını ve yoğunluğunu belirlemeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda, su samuru ve 12 farklı türün sayısı, sıklığı ve nisbi yoğunlukları Çizelge 1'de gösterilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen veriler alandaki en aktif türün insan olduğunu göstermektedir.

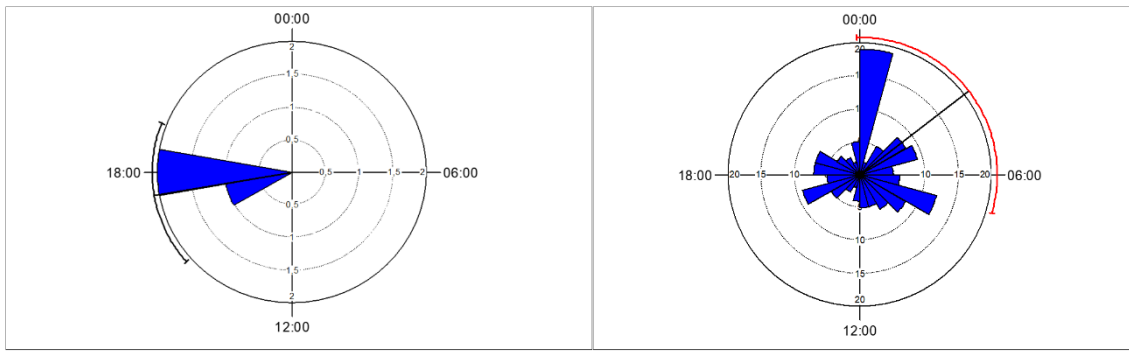
3.2. Fotokapan Yöntemi

Arazi çalışması 01.05.2023-06.11.2023 tarihleri arasında yürütülmüş ve fotokapan istasyonları var-yok, iz-belirti yöntemi ile belirlenen alanlara yerleştirilmiştir. Fotokapan gün değerleri ve kurulum tarihleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Fotokapan istasyonlarında kaydedilen türlerin aktivite desenleri de sunulmuştur.

Su samurlarının günlük aktiviteleri Oriana (Hassan, vd., 2009) programı ile analiz edilerek aktivite desenleri elde edilmiştir. Su samurlarının ve insanların günlük aktivite desenleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Araştırma alanındaki fotokapan istasyon çalışmalarından görüntüler
Figure 3. Images from camera trap station works in the research area



Şekil 4. Fotokapan istasyonlarında görüntülenen su samurlarının ve insanların günlük aktivite deseni (Hassan, vd., 2009). Figure 4. Daily activity pattern of otters and humans displayed at camera trap stations (Hassan, vd., 2009).

Çizelge 1. Var-yok çalışmasında tespit edilen türler

Table 1. Species detected in the presence-absence study

Türler	Teşhis adedi	Türlerin rastlama frekans	% Nisbi yoğunluk
Su samuru (<i>L. Lutra</i>)	7	6,86	%3
Tilki (<i>Vulpes vulpes</i>)	17	16,67	%7
Yaban tavşanı (<i>Lepus europaeus</i>)	30	29,41	%13
Yaban domuzu (<i>Sus scrofa</i>)	25	24,51	%10
Sincap (<i>Sciurus anomalus</i>)	8	7,84	%3
Porsuk (<i>Meles meles</i>)	11	10,78	%5
Kaya sansarı (<i>Martes foina</i>)	21	20,59	%9
Kirpi (<i>Erinaceus europaeus</i>)	19	18,63	%8
İnsan (<i>Homo sapiens</i>)	60	58,82	%25
Köpek (<i>C. familiaris</i>)	40	39,22	%17

Çizelge 2. Fotokapan gün değeri sonucu elde edilen görüntü sayısı

Table 2. Number of images obtained as a result of camera trap day value

	Kurulum tarihi	Toplama tarihi	Fotokapan adedi	Gün sayısı	Görüntü sayısı
1	01.05.2023	01.06.2023	5	150	1 500
2	02.05.2023	02.07.2023	6	180	2 400
3	03.07.2023	03.08.2023	6	180	2 900
4	04.08.2023	04.09.2023	7	210	2 400
5	05.09.2023	05.10.2023	7	210	2 300
6	06.10.2023	06.11.2023	7	210	1 780
Toplam				1 140	13 280

4. Tartışma ve Sonuç

Su samuru, su ekosistemlerinin sağlıklı olduğunun bir göstergesidir. Bu yarı sucul hayvan, besin zincirinin en üstünde yer alır ve su ortamlarının biyolojik çeşitliliğine katkıda bulunur.

Türkiye'deki su samurları hakkında ilk bilimsel kayıt, Danford ve Alston tarafından (1877) yılında yapılmıştır. Çalışma, Mersin-Tarsus bölgesindeki gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Türkiye'nin farklı bölgelerinden yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından su samuru kaydı verilmiştir. (Çağlar, 1957; Albayrak, 1995; Alp vd., 1999; Albayrak, 2000; Güven, 2000; Veryeri ve Yerli, 2002; Toyran, 2010; Albayrak, 2013; İlemin vd., 2014; Özen ve Gündüz, 2015; Çam ve Ölmez, 2015; Turan vd., 2015; Toyran ve Albayrak, 2016; Ulutürk ve Yürümez, 2017; Evcin vd., 2017; Ertuğrul vd., 2017).

Bu çalışma, Akdeniz bölgesindeki biyoçeşitliliğin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Köprülü Kanyon Milli Parkı'nda, daha önce bölgede bulunduğu bilinen bir türün varlığının doğrulanması, ekosistem üzerindeki etkileri ve koruma stratejileri açısından önemlidir. Bu tespitler, bölgenin ekosistemini daha iyi anlamamıza ve sürdürülebilir yönetim planları geliştirmemize olanak tanıyacaktır.

Su samurları, dünya genelinde tatlı su kaynakları ve tuzlu okyanus kıyılarına kadar çeşitli habitatlarda yaşayan memelilerdir. Uzun ve ince vücutları, güçlü ve perdeli ayakları ile mükemmel yüzücülerdir ve suda hızla hareket edebilirler. Gece aktif olmaları ve su altında yaşamaları, türün doğrudan gözlemlenmesini zorlaştırmaktadır.

Su samurları, doğrudan gözlem yöntemleri ile değil, izler, dışkıları, yuvalama alanları gibi dolaylı gözlem yöntemleri veya fotokapan istasyonları aracılığıyla tespit edilebilmektedir (Bonesi vd., 2004). Gerçekleştirilen çalışmalarda, fotokapan istasyonlarının yerlerini tespit etmek için var-yok iz, belirti yöntemi kullanılmıştır. Koca (2021), Akdağ YHGS'de gerçekleştirdiği çalışma sonucunda alanda bulunan türlerin rastlama frekanslarını belirtmiştir. Köprülü Kanyon Milli Parkında var-yok iz, belirti ve fotokapan çalışmaları sonucunda türlerin rastlanma frekansları; su samuru (*Lutra lutra*) (6.86), yaban tavşanı (*Lepus europaeus*) (29.41), tilki (*Vulpes vulpes*) (16.67), porsuk (*Meles meles*) (10.78), kaya sansarı (*Martes foina*) (20.59), sincap (*Sciurus anomalus*) (7.84), kirpi (*Erinaceus europaeus*) (18.63), yaban domuzu (*Sus scrofa*) (24.51), insan (*Homo sapiens*) (58.82), köpek (*C. familiaris*) (39.22) olarak tespit edilmiştir. Ünal vd. (2019), Antalya ilinde bulunan Düzlerçamı YHGS'de 2016-2017 yıllarında gerçekleştirdikleri çalışmada Karakulak (*Caracal caracal*)'ın günlük aktivite desenini, popülasyon durumu ve habitat tercihini incelenmiştir. Türün günün her saatinde aktif olabildiği, fakat en fazla aktif olduğu zamanın gece 24.00-06.00 saatleri arasında olduğunu tespit edilmiştir. Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru (*Lutra lutra*)'nun aktivite deseni incelenmiş ve türün en aktif olduğu zaman diliminin 17.00-19.00 arasında olduğu tespit edilmiştir.

İlemin (2010) tarafından Muğla/Datça-Bozburun bölgesinde yapılan çalışmada hava koşullarına bakılmaksızın fotokapan istasyonlarını 45 günlük aralıklarla kontrol ettiği ve sonuç almak için gerekli verileri topladığı belirtilmiştir. Köprülü Kanyon Milli Parkında fotokapan istasyon çalışmaları, veri toplama, batarya değiştirme ve kontrol işlemleri iklim koşullarına göre değişiklik göstermiştir. Bu süreçler, en kısa 29 gün, en uzun ise 45 gün olarak

belirlenmiştir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada elde edilen veriler ile su samurunun çalışma alanındaki varlığının tespit edilmiş olması, fotokapan istasyonlarının kontrol sürelerinin yeterli olduğunu göstermektedir. Su samurları, özellikle trafik kazaları nedeniyle ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmaktadır. (Kruuk ve Conroy,1991), (1984-1988 yılları arasında Shetland'da yaptığı çalışma, su samuru ölümlerinin yarısından fazlasının insan kaynaklı olduğunu ortaya koymuştur. Langevelde vd. (2009) yılındaki çalışması ise, kara yollarının yaban hayatı türleri üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır. Ancak, Köprülü Kanyon Milli Parkında gerçekleştirilen var-yok iz, belirti çalışmalarında trafik kazası sonucu ölmüş su samuru bireyi tespit edilmemiştir. Bu durum Köprülü Kanyon Milli Parkında bulunan otoyolların su samuru popülasyonlarına etkisinin düşük olduğunu göstermektedir. Ancak, otoyolların yakınında bulunan su samuru popülasyonlarının nasıl etkilendiğini araştırmak için daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Özdemir ve Barlas (2002) yılındaki çalışmaları, balık çiftliklerinde kullanılan kimyasal ilaçların su samurları üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Bu ilaçlar, çiftliklerden sızarak sulak alanlara ulaşmakta ve su samurlarının yaşam alanlarını kirletmektedir. Bu durum, su samurlarının beslenme, üreme ve barınma gibi temel yaşam aktivitelerini tehdit etmektedir. Köprülü Kanyon Milli Parkında gerçekleştirilen röportaj çalışmalarında balık çiftliklerinin bu tür kimyasal ilaçların kullanılmaması gerektiği balık çiftliği sahiplerine söylenmiştir. Denetimlerin artırılması gerektiği düşünülmektedir. Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru, çevre kirliliği, habitat kaybı ve avlanma gibi insan kaynaklı tehditlerle karşı kaldığı anlaşılmıştır. Su samurları, bitki örtüsü zengin olan sulak alanlarda yaşamayı tercih ederler. Bitki örtüsü, su samurlarına avlanma, barınma ve yuva yapma imkânı sağlar. Bu nedenle, bitki örtüsü yoğunluğu ile su samuru popülasyon yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır.

Gerçekleştirilen röportajlarda ve elde edilen fotokapan görüntülerinde Köprülü Kanyon Milli Parkında gerçekleştirilen yoğun rekreasyon faaliyetlerinin su samuru habitatlarının tahrip olmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Alanda su samuru popülasyonları üzerinde tehdit unsuru oluşturabilecek en önemli unsurun habitat bozulması ve kaybı olduğu değerlendirilmektedir. Su samurlarının yaşam alanlarının tahribi ve kaçak avcılık sonucu besin kaynaklarının azalması türü alanda faaliyet gösteren alabalık çiftliklerine yönelmektedir. Bu durum su samurunun kaçak avcılık gibi tehditlerle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Sahada kaçak avcılıkla daha dikkatli mücadele edilmelidir. Kanyon da gerçekleştirilen çalışmalar düzensiz ve kaçak olta balıkçılığı sonucu kaçak avcıların bıraktığı ağ, misine gibi materyaller dikkat çekmekte olup su samurlarının yaşam alanlarını tehdit ettiği anlaşılmıştır. Alanın belli bölümlerinde olta balıkçılığı için özel alanlar oluşturulmalı ve bu alanların su samuru habitatlarının dışında olmasına özen gösterilmelidir. Kanyonda gerçekleştirilen rafting faaliyetleri ve turistik ziyaretler, kanyonda yaşayan kuş, memeli ve diğer türleri olumsuz etkilemektedir. Bu faaliyetlerin, uzmanların belirlediği saatlerde, uygun saatlerde ve rehber eşliğinde yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen çalışma türün alandaki durumunu ve koruma ihtiyaçlarını ortaya koymaktadır. Fakat, sahadaki su samuru popülasyonları için daha detaylı ve uzun vadeli saha çalışmalarına devam edilmelidir. Bu çalışma su samuru popülasyonlarının biyolojisini ve ekosistemdeki rolü

hakkında farkındalık oluşturmak, koruma önlemlerinin arttırılmasını teşvik etmek için oldukça önemlidir. Ancak Köprülü Kanyon Milli Parkında su samuru popülasyonlarının yaşam alanlarının net bir şekilde belirlenmesi ve diğer parametrelerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Albayrak, İ., 1995. Su samuru ve Akyaka. Tübitak, Bilim ve Teknik, Ankara, 28(337): 97.
- Albayrak, İ., 2000. Türkiye'deki Su samuru (*Lutra lutra* L. 1758)'nin yayılışına katkılar. Tabiat ve İnsan Dergisi, 34(1): 3-7.
- Albayrak, İ., 2013. On the Otter in Kırıkkale province. Hacettepe journal of biology and chemistry, 41(3): 255-257.
- Alkan, H., 2009. Negative impact of rural settlements on natural resources in the protected areas: Kovada lake national park, Turkey. Journal of Environmental Biology, 30(3): 363-372.
- Alp, M., Kocabağlı, N., Kahraman, R., Bostna, K., 1999. Effects of dietary supplementation with organic acids and zinc bacitracinon ileal microflora, pH and performance in broilers. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 23(5): 451-456.
- Aydoğdu, M., Gezer, K., 2006. Çevre Bilimi. Anı Yayıncılık, Ankara.
- Bonesi, L., Chanin, P., Macdonald, D., W. 2004. Competition between Eurasian otter (*Lutra lutra*) and American mink (*Mustela vison*) probed by niche shift. Oikos, 106(1): 19-26. doi: org/10.1111/j.0030-1299.2004.12763.x
- Çağlar, M., 1957. Fethiye civarının bazı memeli hayvanları hakkında. Türk Biyoloji Dergisi, 7 (3): 72-76.
- Çam, P., Ölmez, İ., 2015. Sinop ili memeli hayvan faunasının değerlendirilmesi. Fen Bilimleri Estütüsü Dergisi, 5(3): 9-16.
- Çetinkaya, G., Altan, T., 2002. Köprülü Kanyon Milli Parkının biyosfer rezerv alanı olarak yeniden düzenlenmesi. Türkiye'nin Kıyı ve deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, 05-08 Kasım İzmir, s.163-170.
- Danford, C. G., Alston, E. R., 1877. On the Mammals of Asia Minor. Proceedings of The Zoological Society, London.
- Dangerfield, J. M., Pik, A. J., 1999. The educational value of an all taxa biodiversity inventory. Journal of Biological Education, 33, 76-83.
- Derman, M., Çakmak, M., Diyaddin, M.Y., Kızılaslan, A., Gürbüz, H., 2013. Biyoçeşitlilik konusunda yapılan çalışmalar ve öğretim programlarında biyoçeşitliliğin değerlendirilmesi, Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, 2(3): 57-66.
- Soyumert, A. 2004. *Vulpes vulpes (tilki) ve Meles meles (porsuk) türlerinin Köprülü kanyon milli parkındaki habitat tercihi üzerine çalışmalar* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ertuğrul, E. T., Mert, A., Oğurlu, İ., 2017. Burdur Gölü Havzasında bazı yaban hayvanlarının habitat uygunluk haritalaması. Türkiye Ormanlık Dergisi, 18: 149-154. doi:org/10.18182/tjf.330950
- Evcin, Ö., Ünal, S., Akkuzu, E., Uğış, A., Küçük, Ö., Özdemir, R. C., 2017. Kastamonu yöresinde tespit edilen su samuru (*Lutra lutra* L. 1758)'nin biyoekolojisi üzerine araştırmalar. Uluslararası Taşköprü Pompeipolis Bilim Kültür Sanat Araştırmaları Sempozyumu, 10-12 Nisan, Kastamonu, s.332-334.
- Güven, N., 2000. Türkiye su samuru (*Lutra lutra*) projesi. Tabiat ve İnsan Dergisi, 34(1): 32-36.
- Hassan, S. F., Hussin, A. G., Zubairi, Y. Z., 2009. Analysis of Malaysian wind direction data using Oriana. Modern Applied Science, 3(3): 115-119.
- İlemin, Y., Gürkan, B., 2010. Status and activity patterns of the Caracal, (*Caracal caracal*), in Datça and Bozburun Peninsulas, Southwestern Turkey. Zoology in the Middle East, 50(1):3-10.
- İlemin, Y., 2014. A camera trapping survey reveals a melanistic grey wolf (*Canis lupus*) in an unusual habitat in Turkey. Zoology in the Middle East, 60(1):1-5.
- Kızıroğlu, İ., 1979. Türkiye'de yaban hayatı yaşam ortamlarının korunması ve ekolojik dengenin bozulması nedenleri. Tabiat ve İnsan Dergisi, 13(4): 3-8.
- Koca, A., 2021. Akdağ yaban hayatı geliştirme sahası'nda Kızılgeyik (*Cervus elaphus*) popülasyon ekolojisinin araştırılması. Doktora tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Kruuk, H., Conroy, J.W.H., 1991. Mortality of otters (*Lutra lutra*) in Shetland. Journal of Applied Ecology, 28: 83-94.
- Oğurlu, İ., 2001. Yaban Hayatı Ekolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Isparta.
- Oğurlu, İ., 2003. Yaban hayatında envanter. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü Av ve Yaban Hayatı Dairesi Başkanlığı Matbaası, Ankara.
- Özdemir, N., Barlas, M., 2000. Muğla ilindeki alabalık işletmelerinde su samurları konusunda yapılan bilinçlendirme ve eğitim çalışmaları. Su Samurunun Türkiye'deki Durumu II. Sempozyumu, 21-22 Eylül, Antalya, s.15-20.
- Özen, A., Gündüz, M., 2015. A new record in distribution region of Otter (*Lutra lutra*) in Turkey. Gazi University Journal of Science, 28(3):353-358.
- Toyran, K., Albayrak, İ., 2016. Avrasya Su samuru, *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758)'nin Türkiye'deki yayılış kayıtları. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(3): 575-578.
- Toyran, K., 2010. Kırıkkale Kızıllırmak su samuru *Lutra lutra* (Linnaeus, 1758) yayılış alanlarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Turan, İ., Ketten, A., Yorulmaz, T., Doğan, C., Baştar, F., 2015. Abant Gölü'ndeki su samuru'nun (*Lutra lutra*) habitat tercihi. Ormanlık Araştırma Dergisi, 1(2): 51-56. doi:org/10.17568/oad.06125
- Ulutürk, S., Yürümez, G., 2017. Türkiye'den yeni *Lutra lutra* Linnaeus, 1758 kayıtları. Commagene Journal of Biology, 1(1):21-24. doi:org/10.31594/commagene.392084
- Ünal, Y., Koca, A., Kısaarslan, Y., Şirin Yelsiz, M., Süel, H., Oğurlu, İ., 2019. Population status, daily activity pattern and habitat preference of caracal (*Caracal caracal* Schreber, 1776) in Antalya Düzlerçami wildlife development. Türkiye Ormanlık Dergisi 20(4):474-481 doi:org/10.18182/tjf.638437
- Van Langevelde, F., Van Dooremalen, C., Jaarsma, C. F., 2009. Traffic mortality and the role of minor roads. Journal of Environmental Management, 90(1): 660-667.
- Veryeri, N.G., Yerli, S.V., 2002. Doğu Akdeniz bölgesi su samuru (*Lutra lutra*) çalışması. Su Samurunun Türkiye'deki Durumu II. Sempozyum, 21-22 Eylül, Antalya, s.73-84.
- Woodward, J., Strong, N., Coe, F. C., Cloughesy, M., 2011. Wildlife in Managed Forests Oregon Forests as Habitat, Oregon Forest Resources Institute, Oregon.

Tree inventory and ecosystem service assessment using web-based geographic information system (GIS) tools: Case study in Edirne

Eylül Malkoç^{a,*} 

Abstract: In addition to covering essential human needs, such as food, fuel, and timber, trees have been providing numerous health, aesthetic, and recreational benefits throughout history. Trees in urban areas provide significant ecosystem services, particularly in relation to air quality regulation via particulate matter (PM) entrapment and greenhouse gas absorption. This study was aimed to elucidate the regulatory ecosystem service capacity of trees in the Selimiye Campus of Trakya University, Edirne, Türkiye. We compiled a tree inventory and a method for assessing regulatory ecosystem services using web-based geographic information system (GIS) tools, namely Google Earth, Google My Maps, and MyTree. The results showed that the Selimiye Campus has 197 trees of 22 species. These trees remove 330 kg of pollutants and sequester 5851.09 kg of carbon annually. Despite its limited tree capacity, the Selimiye Campus holds significant potential for regulatory ecosystem services. Overall, this study emphasises the importance of compiling tree inventories using web-based tools to guide landscape planning and decision-making processes. It also highlights that campuses are essential components of urban green spaces, contributing to green area development and providing regulatory ecosystem services.

Keywords: Tree inventory, Ecosystem services, Google My Maps, Google Earth, MyTree

Web tabanlı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçları ile ağaç envanteri oluşturmak ve ekosistem hizmetlerinin ölçülmesi: Edirne örneği

Öz: Gıda, yakıt ve kereste gibi temel insan ihtiyaçlarını karşılamamanın yanı sıra, ağaçlar tarih boyunca birçok sağlık, estetik ve rekreasyonel fayda sağlamıştır. Kent ağaçları, özellikle partikül madde (PM) tutma ve sera gazı emilimi yoluyla hava kalitesinin düzenlenmesi açısından önemli ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Bu çalışmanın amacı Trakya Üniversitesi Selimiye Kampüsü'ndeki ağaçların düzenleyici ekosistem hizmetleri kapasitesini ölçmektir. Ağaç envanteri oluşturmak ve düzenleyici ekosistem hizmetlerini ölçmek için Google Earth, Google My Maps ve MyTree gibi web tabanlı açık kaynaklı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) araçları kullanılmıştır. Bulgular Trakya Üniversitesi Selimiye Kampüsü'nde 22 türe ait 197 ağaç bulunduğunu; bu ağaçların yılda 330 kg kirlenici maddeyi temizlemekte ve 5851,09 kg karbonu depolamakta olduğunu göstermiştir. Sınırlı ağaç kapasitesine rağmen Selimiye Kampüsü, önemli bir düzenleyici ekosistem hizmeti potansiyeline sahiptir. Çalışma, peyzaj planlama ve karar alma süreçlerine rehberlik etmek amacıyla web tabanlı ve açık kaynaklı uygulamalar ile ağaç envanteri oluşturmanın önemini vurgulamakta ayrıca kampüslerin kentlerin yeşil alan ihtiyacını karşılayan ve düzenleyici ekosistem hizmetlerine katkı sunan bileşenler olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Ağaç envanteri, Ekosistem hizmetleri, Google My Maps, Google Earth, MyTree

1. Introduction

Throughout history, trees have not only been covering basic human needs, such as food, fodder, fuel, and timber, but have also been providing health, aesthetic, and recreational benefits (Tyrväinen et al., 2005). Trees are significant elements in urban areas, offering a range of benefits and functions, from psychological and aesthetic improvements to various ecosystem services (Aerts and Honnay, 2011; Roy et al., 2012).

One of the most important ecosystem services of trees is their influence on air quality (Smith, 1990). Owing to their physiological characteristics, trees can store, filter, and convert pollutants (Nowak et al., 2018a), as well as sequester and filter significant amounts of carbon, particulate matter (PM), nitrogen dioxide, and sulfur dioxide annually (Nowak

et al., 2014). Trees improve air quality by trapping PM, absorbing greenhouse gases, regulating climate, and improving air quality (Nowak et al., 2014).

Information systems are important for collecting, storing, generating, and distributing information that can support management functions; ultimately, they enable the public to readily access and efficiently use geographic information (Dragičević and Balram, 2004). Web-based geographic information system (GIS) tools for environmental assessment, resource management, and decision making are popular, as they allow for efficient and systematic use of data (Shim et al., 2002); they enable compiling inventories and conducting assessments of the regulatory ecosystem services of vegetation through storage, analysis, and use of various plant-related data (Tasoulas et al., 2013).

✉ ^a Trakya University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, Edirne 22030, Turkey

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): eylul.malkoc@hotmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.09.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.10.2024



Citation (Atıf): Malkoç, E., 2024. Web tabanlı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçları ile ağaç envanteri oluşturmak ve ekosistem hizmetlerinin ölçülmesi: Edirne örneği. Turkish Journal of Forestry, 25(4): 540-545.
DOI: [10.18182/tjf.1543353](https://doi.org/10.18182/tjf.1543353)

The use of web-based GIS tools was popularized through the introduction of Google Earth in 2005 and Google My Maps in 2007 as free mapping tools enabling the creation and sharing of location-based maps on the web (Google Inc., 2007). Another web-based GIS tool, namely MyTree, is a rapid, practical, and free ecosystem service assessment tool developed by the United States Department of Agriculture i-Tree program (Nowak, 2021b); it has been used in tree inventory studies conducted in many cities across the USA, Canada, and Mexico, as well as in European cities, such as Barcelona, London, Madrid, and Zurich (Nowak et al., 2018b).

Trees in urban areas are the most important and dominant natural resources, significantly contributing to the ecological, social, cultural, economic, and aesthetic aspects of cities. Numerous studies involving tree inventories and regulatory ecosystem service assessments have been conducted worldwide; their purposes vary, from regional and municipal scales to campuses, according to the individual needs at different scales (Csurgó and Smith, 2021; Veerkamp et al., 2021). Municipalities in North America have primarily conducted economic assessments of trees in cities; however, in Northern Europe, environmental management issues, such as monitoring tree health and canopy dynamics of tree stands, have been assessed using the i-Tree program (Östberg et al., 2018).

University campuses constitute main components of urban areas and include varieties of trees (Wang et al., 2021). A total of 6159 trees were inventoried on the Yale University campus in the city of New Haven, Connecticut, USA (Yale University, 2020). Hepcan and Hepcan (2017) examined the tree cover in the Lojmanlar Campus of Ege University, İzmir, Türkiye, and assessed the ability of the trees to remove harmful pollutants from the atmosphere. Several studies have used the web-based i-Tree Canopy—a fast and practical assessment tool—for assessing regulatory ecosystem services (Qian et al., 2019; Ghorbankhani et al., 2024). i-Tree Canopy uses the average coefficients for conducting regulatory ecosystem service calculations; these coefficients are derived from USA data and are not based on tree species. Ma et al. (2021) emphasized tree species and trunk diameter as the most commonly used parameters in comprehensive assessments of regulatory ecosystem services. MyTree is a tool that uses tree species, trunk size, and crown size information for assessing PM absorption, carbon sequestration, NO₂, and O₃, as well as the equivalent monetary values, providing comprehensive results for small-scale studies (Nowak, 2021).

Considering the 21st century climate variability and climate regulation needs, compiling tree inventories for cities and assessing the ability of trees to regulate air quality have emerged as key procedures (Loughner et al., 2012; Nowak et al., 2014). Our enhanced understanding of the importance of trees in urban areas has highlighted also the importance of obtaining detailed information on trees and their regulatory ecosystem services. In Türkiye, assessments of the regulatory

ecosystem services of trees on university campuses are limited. The aim of this study was to compile a tree inventory and assess the regulatory ecosystem services of the trees on the Selimiye Campus of Trakya University, Edirne, Türkiye. Furthermore, we aimed to develop an assessment method using various web-based information system tools that are becoming increasingly popular owing to technological advancements, consistent with the information needs of societies.

2. Materials and methods

2.1 Study area

The Selimiye Campus of Trakya University is located within the boundaries of the Merkez district of Edirne in the Trakya region of Türkiye (41° 40' 49.75' N, 26° 33' 37.52' E). The campus has a north-south orientation, covering a total area of 23,888.17 m² (Figure 1). The entire campus, including the Harbiye Barracks Building, is registered as a “Protected Monument” (number 294) by the Edirne Cultural Heritage Preservation Board; it lies within the impact and transition zone of the Selimiye Mosque and Complex, which is included in the UNESCO World Heritage List (MoCaT, 2011). Since 2012, the Selimiye Campus of Trakya University has been hosting the Faculty of Architecture.

2.2 Methods

Our method for compiling a tree inventory and conducting regulatory ecosystem service assessment using web-based GIS tools involved five steps. First, the boundaries of the research area were defined using a web-based interactive application that displays the development status of the Urban Planning and Housing Department of Edirne Municipality (MoE, 2024). Subsequently, the attribute information of the trees in the study area (family, Latin name, trunk diameter, crown height, and crown diameter) were determined on site, and their locations and relevant attribute information were marked with ground control points using Google Earth and saved in KML format. The KML file was transferred to Google Maps, represented by visualization symbols depending on the tree species, and made publicly available on the web for use by the community. The regulatory ecosystem services of trees in the Selimiye Campus were calculated using MyTree based on the species, trunk size, health status, and sun exposure of trees. This method was used to calculate and report the annual total regulatory ecosystem services of all trees on campus, including the removal of air pollutants (ozone [O₃], carbon monoxide [CO], nitrogen dioxide [NO₂], PM smaller than 2.5 µm [PM_{2.5}], sulfur dioxide [SO₂]), carbon sequestration, and equivalent monetary values. The results obtained were evaluated, and a report was generated using MyTree. All web-based tools used in this study are publicly available and free of charge.



Figure 1. Map of the Selimiye Campus of Trakya University, Edirne, Türkiye

3. Results and discussion

The campus contained 12 families, 22 species, and 197 trees. The individual tree species and numbers in the study area included *Abies nordmanniana* (1), *Acer negundo* (47), *Ailanthus altissima* (11), *Cedrus atlantica* (9), *Cedrus deodara* (1), *Cercis siliquastrum* (2), *Chamaecyparis lawsoniana* (14), *Cupressus macrocarpa* Goldcrest (1), *Cupressus sempervirens* (24), *Gleditsia triacanthos* (1), *Juglans nigra* (seven), *Lagerstromia indica* (3), *Morus alba* (1), *Pinus brutia* (5), *Pinus nigra* (27), *Platycladus orientalis* (2), *Prunus cerasifera* (5), *Prunus cerasus* (1), *Prunus domestica* (3), *Prunus mahaleb* (5), *Robinia* sp. (15), *Sambucus nigra* L. (2), and *Tilia tomentosa* (1). *A. negundo* and *P. nigra* were the most dominant species in terms of their populations in the study area. The distributions as well as the trunk sizes, crown heights, crown widths, statuses, and annual air pollution removal and carbon sequestration values of all species on campus are listed in Table 1. The trunk sizes of the trees on campus ranged from 10 to 100 cm, and the

regulatory benefits provided by trees to the ecosystem increased proportionally with increasing trunk size (Table 1). Although *Robinia* sp. and *G. triacanthos* exhibited the highest carbon sequestration capacities, *A. negundo* and *C. atlantica* showed the highest potentials for removing atmospheric pollutants compared to other species.

The results obtained using MyTree provided the annual estimates of air pollution removal, carbon sequestration, CO₂ equivalents, and equivalent monetary values (Table 2). The trees on the Selimiye Campus capture a total of 330 kg of pollutants and particles annually, corresponding to an air pollution removal value of \$198.16. The annual amount of carbon sequestered by the trees was estimated at 5851.09 kg, corresponding to a CO₂ equivalent of 21454.01 kg. The amounts of CO and NO₂ removed from the air were estimated at 5276.42 and 15447.77 g/year, respectively. The amount of O₃ removed was estimated at 180517.74 g/year. The amount of SO₂ removed was estimated at 112286.83 g/year. The amount of PM_{2.5} removed by the trees was estimated at 16937.78 g.

Table 1. Tree inventory and regulatory ecosystem services of tree species on the Selimiye Campus

Nr	Family	Latin name	Trunk size (cm)	Crown height (m)	Crown width (m)	Status	Air pollution removal (per yr)	Carbon sequestration (per yr)
1	Pinaceae	<i>Abies nordmanniana</i>	75	25	15	Healthy	935 g	21 kg
47	Sapindaceae	<i>Acer negundo</i>	100	15	20	Healthy	3900 g	22 kg
11	Simaroubaceae	<i>Ailanthus altissima</i>	30	20	10	Healthy	575 g	40 kg
9	Pinaceae	<i>Cedrus atlantica</i>	100	25	12	Healthy	1400 g	51 kg
1	Pinaceae	<i>Cedrus deodara</i>	65	25	10	Healthy	950 g	50 kg
2	Fabaceae	<i>Cercis siliquastrum</i>	60	10	5	Healthy	1120 g	2 kg
14	Cupressaceae	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	35	10	6	Healthy	320 g	20 kg
1	Cupressaceae	<i>Cupressus macrocarpa</i> Goldcrest	25	10	3	Healthy	205 g	16 kg
24	Cupressaceae	<i>Cupressus sempervirens</i>	60	20	5	Healthy	600 g	1 kg
1	Fabaceae	<i>Gleditsia triacanthos</i>	75	12	7	Healthy	1250 g	100 kg
7	Juglandaceae	<i>Juglans nigra</i>	15	15	8	Healthy	220 g	7 kg
3	Lythraceae	<i>Lagerstroemia indica</i>	20	6	3	Healthy	150 g	13 kg
1	Moraceae	<i>Morus alba</i>	55	10	7	Healthy	900 g	62 kg
5	Pinaceae	<i>Pinus brutia</i>	95	15	10	Healthy	1300 g	60 kg
27	Pinaceae	<i>Pinus nigra</i>	70	25	20	Healthy	800 g	30 kg
2	Cupressaceae	<i>Platycladus orientalis</i>	10	5	4	Healthy	70 g	6 kg
5	Rosaceae	<i>Prunus cerasifera</i>	40	5	3	Healthy	700 g	17 kg
1	Rosaceae	<i>Prunus cerasus</i>	40	12	10	Healthy	750 g	20 kg
6	Rosaceae	<i>Prunus mahaleb</i>	70	10	5	Healthy	1200 g	2 kg
15	Fabaceae	<i>Robinia sp.</i>	80	20	8	Healthy	1340 g	122 kg
2	Adoxaceae	<i>Sambucus nigra L.</i>	75	7	4	Healthy	530 g	1 kg
1	Malvaceae	<i>Tilia tomentosa</i>	50	6	3	Healthy	850 g	25 kg

Table 2. Total regulatory ecosystem services of all trees on the Selimiye Campus.

Air pollution removal (per year)	\$ 198.16
Carbon monoxide (CO) (per year)	5276.42 g
Ozone (O ₃) (per year)	180517.74 g
Nitrogen dioxide (NO ₂) (per year)	15447.77 g
Sulfur dioxide (SO ₂) (per year)	112286.83 g
PM _{2.5} (per year)	16937.78 g
Total (per year)	330 kg
CO ₂ uptake (per year)	\$174.81
Carbon sequestration (per year)	5851.09 kg
CO ₂ equivalent (per year)	21454.01 kg

By comparing the values estimated in this study with those of other studies, we found that both the number of trees on the Selimiye Campus and the regulatory ecosystem services that they could provide were limited. For example, in a study conducted on the Yale University campus in the city of New Haven, Connecticut, USA, trees had annual carbon sequestration and air pollution removal values of 56,83 and 1,29 t, respectively, with the campus containing approximately 6159 trees and 11 different tree species (Yale University, 2020). The annual NO₂ removal and CO₂ sequestration of the trees on the Oregon State University campus, which contains more than 4000 trees, were approximately 100 times greater than those estimated for the Selimiye Campus (Phillips et al., 2013). In addition, the regulatory ecosystem services at the Lojmanlar Campus of Ege University and Tandoğan Campus of Ankara University were significantly higher than those at the Selimiye Campus in terms of tree cover, carbon sequestration (Dilaver et al., 2017; Hepcan and Hepcan, 2017). At the former, existing tree cover is 48%, with 2 dominant tree species: *Pinus pinea* (24 ha) and *Olea europea* (10 ha) storing 321.57 ton C per year; whereas at the latter, existing tree cover is 42%, with 5813 trees storing 465.59 ton C per year. The most dominant tree species in Tandoğan Campus of Ankara University are *Pinus nigra* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle and *Sophora japonica* L. In Selimiye Campus dominant tree species are *A. negundo*, *C. sempervirens*, and *P. nigra*. those have almost same amount of carbon sequestration capacity in relation to *Pinus pinea*, *Olea europea*, *Pinus nigra* L. however, the

number of trees in Ege University Lojmanlar Campus and Tandoğan Campus are higher than Selimiye Campus. Whereas *Robinia sp.* and *G. triacanthos* which sequester high amount of carbon in relation to *A. negundo*, *C. sempervirens*, and *P. nigra* but exist in limited numbers in Selimiye Campus. Although the sizes of campuses as well as the ages, species, and numbers of existing trees influence these results, the regulatory ecosystem services of trees exhibit notable differences among university campuses in Türkiye, as well as between campuses in Türkiye and campuses in USA.

The most dominant tree species on the Selimiye Campus are *A. negundo*, *C. sempervirens*, and *P. nigra*. *Robinia sp.* and *G. triacanthos* exhibit the highest carbon sequestration values, and *A. negundo* and *C. deodora* exhibit the highest air pollution removal capacities. MyTree distinguishes among species and calculates the air quality on the basis of each individual tree and its species (Ma et al., 2021; Nowak, 2021). Conversely, other tools, such as i-Tree Canopy, calculate air quality based on the tree cover without considering tree species. Obtaining information on tree species in relation to determining regulatory ecosystem services and economic returns may be challenging. Small-scale studies, such as those conducted on university campuses, facilitated by web-based tree inventories are crucial for developing in-depth and case-by-case knowledge on each tree and subsequently on the entire study areas.

Understanding urban components, such as university campuses, and their economic values, along with the regulatory ecosystem services they provide, is essential for both citizens and local authorities. The annual economic values of regulatory ecosystem services offered by 197 trees (Table 1) for air pollution removal and CO₂ uptake estimated in this study amount to approximately 197.16 and 174.81 USD, respectively (Table 2). Approximately half of the aforementioned values originate from the annual carbon sequestration of the trees within the study area.

Various studies have assessed the economic role of urban trees in relation to air quality enhancement. For example, Nowak et al. (2018a) estimated that the value of ecosystem services from green spaces in Canada is in the range of

millions of dollars. Similarly, Hepcan and Hepcan (2017) estimated that the economic contribution of trees on the Lojmanlar Campus of Ege University is 112481 USD. Similar research worldwide highlights the significant annual economic benefits of regulatory ecosystem services; they vary according to the scales and whether the forested areas are urban or rural. Given these findings, campus trees play a vital role in the urban economy, even if their primary contribution is limited to improving air quality.

4. Conclusions

Trees in urban areas, including campus trees, are important natural resources that provide ecosystem services to both the city and its residents. Green spaces on university campuses provide regulatory ecosystem services, while also providing shelter for education, teaching, research, and development for students and academics. Regarding the Selimiye Campus of Trakya University, compiling a comprehensive tree inventory and conducting an assessment of regulatory ecosystem services are key procedures for determining the current status and ensuring the long-term management of tree resources.

To the best of our knowledge, this is the first study to assess the regulatory ecosystem services of the trees on the Selimiye Campus and the associated monetary values. The impact of campus trees on the environment and their associated economic contributions to the city and its residents are becoming increasingly important, considering the 21st century climate variability.

Overall, there were 197 trees from 22 different species on campus, removing a total of 330 kg of gas and particulate pollutants from the air and capturing 5851.09 kg of carbon annually. The total economic values of these services were estimated to be \$198.16, and \$174.81, respectively. Based on these findings, the Selimiye Campus has a limited capacity for regulatory ecosystem services compared to those of other campuses, such as the Lojmanlar Campus of Ege University and Tandoğan Campus of Ankara University. The results of this study should be valuable to decision-makers, landscape planners, and designers, highlighting the necessity for planting trees and increasing species diversity to increase the regulatory ecosystem service capacity of the Selimiye Campus.

This study was conducted at a university campus scale; however, as the methodology and procedure were explained in detail, further studies can be conducted for other public green spaces in Edirne, particularly spaces where comprehensive analyses are required. The detailed methodology and the web-based tools used in this study emphasise the possibilities for rapid, practical, and cost-effective solutions in conducting regulatory ecosystem service assessments and the importance of information technologies in relation to conducting landscape planning and environmental assessments.

References

- Aerts, R., Honnay, O., 2011. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11: 1-10.
- Csurgó, B., Smith, M.K., 2021. The value of cultural ecosystem services in a rural landscape context. *Journal of Rural Studies*, 86: 76-86.
- Dilaver, Z., Yuksel, U., Yilmaz, F. C., 2017. Contribution of university campuses to climate change mitigation: Ankara University Tandoğan campus case. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26: 7018-7024.
- Dragičević, S., Balram, S., 2004. A Web GIS collaborative framework to structure and manage distributed planning processes. *Journal of Geographical Systems*, 6: 133-153.
- Ghorbankhani, Z., Zarrabi, M. M., Ghorbankhani, M., 2024. The significance and benefits of green infrastructures using I-Tree canopy software with a sustainable approach. *Environment, Development and Sustainability*, 26: 14893-14913.
- Google inc, 2007. Google Mymaps, web site, <https://www.google.com/maps/d/u/0/>, Accessed: 24.10.2024.
- Hepcan, C.C., Hepcan, S., 2017. Ege Üniversitesi lojmanlar yerleşkesinin hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servislerinin hesaplanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54: 113-120.
- Loughner, C.P., Allen, D.J., Zhang, D.L., Pickering, K.E., Dickerson, R. R., Landry, L., 2012. Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects: parameterization and preliminary results. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51: 1775-1793.
- Ma, B., Hauer, R.J., Östberg, J., Koeser, A.K., Wei, H., Xu, C., 2021. A global basis of urban tree inventories: What comes first the inventory or the program. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60: 127087.
- MoCaT, 2011. Ministry of Culture and Tourism, General Directorate of Cultural Heritage and Museums, <http://www.kvmgm.gov.tr/Eklenti/57318,edirne-selimiye-camii-kulliyesi-yonetim-planipdf.pdf?0>, Accessed: 26.10.2024.
- MoE, 2024. Municipality of Edirne, KEOS <https://webgis.edirne.bel.tr/keos/>, Accessed: 26.10.2024.
- Nowak, D.J., 2021. Understanding i-Tree: 2021 Summary of programs and methods. USDA Forest Service. General Technical Report NRS-200-2021
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield E., 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193: 199-129.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., Pasher, J., 2018a. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29: 40-48.
- Nowak, D.J., Maco, S., Binkley, M., 2018b. i-Tree: Global tools to assess tree benefits and risks to improve forest management. *Arboricultural Consultant*, 51: 10-13.
- Östberg, J., Wiström, B., Randrup, T. B., 2018. The state and use of municipal tree inventories in Swedish municipalities – results from a national survey. *Urban Ecosystems*, 21: 467-477.
- Yale University, 2020. Tree Management Plan and Ecosystem Services Plan, Connecticut. web site: <https://facilities.yale.edu/sites/default/files/tree-management-plan-ecosystem-services-plan.pdf>, Yale University, Accessed: 26.10.2024.
- Phillips, D.C., Burdick, C., Merja, B., Brown, N., 2013. Urban forest ecosystem services: A case study assessment in Corvallis, Oregon. Presented at 98th Ecological Society of America, 4-9 August, Minneapolis, Minnesota.
- Qian, W., Zhongxia, Z., Ping, W., 2019. An assessment of ecosystem services of urban green spaces based on i-Tree. *Journal of Landscape Research*, 11: 53-56.

- Roy, S., Byrne, J., Pickering, C., 2012. A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11: 351-363.
- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D.J., Sharda, R., Carlsson, C., 2002. Past, present, and future of decision support technology. *Decision support systems*, 33: 111-126.
- Smith, W.H., 1990. *Air Pollution and Forests*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Tasoulas, E., Varras, G., Tsirogiannis, I., Myriounis, C., 2013. Development of a GIS application for urban forestry management planning. *Procedia Technology*, 8: 70-80.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., De Vries, S., 2005. Benefits and uses of urban forests and trees. In: *Urban Forests and Trees* (Eds: Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., Schipperijn, J.), Springer, Berlin, pp. 81-114.
- Veerkamp, C.J., Schipper, A.M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., Hanson, H. I., 2021. A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. *Ecosystem Services*, 52: 101367.
- Wang, R., Jiang, W., Lu, T., 2021. Landscape characteristics of university campus in relation to aesthetic quality and recreational preference. *Urban Forestry & Urban Greening*, 66: 127389.

Instructions for authors

Manuscript should be prepared in A4 page size, with Times New Roman font and 12 pt font size, as plain text. Unless necessary, no special formatting should be used. Page and line numbers should be included into the manuscript. Please check out the explanations below for other details.

Cover page: Cover page should include title of the manuscript, names and contact information of the authors.

Title and abstract (Turkish and English): Abstract should not exceed 250 words, and briefly explains rationale, goals, methods, results and recommendations of the study. Keywords with 3-6 words should be included at the end of the abstract.

Main text: Main body of the manuscript should be written in single line spacing, and it should not exceed a total of 15 pages including tables and figures. Headings should be numbered as follows: 1., 1.1., 1.1.1.

Footnotes: Use of footnotes within the text should be avoided as much as possible. If necessary, it can be used below tables and figures.

Symbols and abbreviations: Unit symbols should comply with The International System of Units. Abbreviations should be explained briefly within a parenthesis where it appears first.

References: In the text, literature should be given with the last name of the author and year of the publication (For example: Oliver et al., 1996; Geray, 1998). At the end of the paper, references should be ordered first alphabetically and then chronologically. If there is more than one paper from the same author for a given year, these references should be identified by the letters a, b, c..., after the year of publication (For example: Jensen, 1998a; 1998b; 1999). See Appendix 1 for details on references.

Tables and figures: All tables and figures (graphs, photographs, maps, etc.) should be numbered in the order of their citation in the text. Titles of the tables should be located above, and titles of the figures should be located below the related table or figure. In Turkish articles, the English equivalents of "Çizelge" and "Şekil" should also be provided as "Table" and "Figure," respectively, in their titles. Tables and figures should be simple, and their text, number, and symbol components should be easily visible and understandable. Figures should be prepared in at least 300 dpi resolution and 8.15 or 17 cm width. Characters within the figures should be in Times New Roman font type and 8 pt font size.

Submission of a manuscript: All review and publishing processes are carried out online in [DergiPark Academic](#). Authors should first "[register](#)" and "[login](#)" to the system and then upload their manuscript with a "[cover letter and copyright transfer form](#)".

Yazar rehberi

Makale A4 sayfa boyutunda, 12 punto Times New Roman yazı tipinde ve düz metin şeklinde hazırlanmalıdır. Zorunlu olmadıkça hiçbir özel format kullanılmamalıdır. Makaleye sayfa ve satır numarası eklenmelidir. Diğer hususlar için lütfen aşağıdaki açıklamalara bakınız.

Kapak sayfası: Kapak sayfasında sırasıyla makale başlığı, yazar adı soyadı, yazar iletişim bilgileri yer almalıdır.

Başlık ve özet (Türkçe ve İngilizce): Özet, 250 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazılmalı, kısaca araştırmanın gerekçesini, amaçlarını, uygulanan yöntemi, sonuç ve önerileri içermelidir. Özet sonuna 3-6 kelimedenden oluşan anahtar kelimeler eklenmelidir.

Ana metin: Makale ana metni tek satır aralıklı olarak yazılmalı, çizelge ve şekillerle birlikte toplam 15 sayfayı geçmemelidir. Konu başlıkları 1., 1.1., 1.1.1., şeklinde numaralandırılmalıdır.

Dipnotlar: Metin içerisinde dipnotlardan olabildiğince kaçınılmalıdır. Çizelge ve şekillerde ise gerekli olması halinde ilgili objenin altında kullanılabilir.

Semboller ve kısaltmalar: Birim sembolleri Uluslararası Birimler Sistemine (The International System of Units; SI) uygun olmalıdır. Kısaltmalar ise metin içerisinde ilk geçtiği yerde parantez içinde açıklanmalıdır.

Kaynaklar: Metin içinde geçen kaynaklar yazarların soyadları ve yayın yılı ile birlikte verilmelidir (Örnek: Oliver vd., 1996; Geray, 1998). Metin sonundaki kaynaklar önce alfabetik sonra kronolojik sıraya göre sıralanmalıdır. Bir yazarın aynı yılda birden fazla yayınına atıf yapılmışsa, bu kaynaklar yayın yılından sonra gelecek a, b, c... harfleriyle ayrılmalıdır (Örnek: Jensen, 1998a; 1998b; 1999). Kaynaklar hakkında detaylar için Ek 1'e bakınız.

Çizelgeler ve şekiller: Bütün çizelge ve şekiller (grafik, fotoğraf, harita vb.) metin içerisinde atıf sıralarına göre ardışık olarak numaralandırılmalıdır. Çizelgelerin başlıkları üzerinde ve şekillerin başlıkları altında yer almalıdır. Türkçe makalelerde, çizelge ve şekillerin başlıklarında "Table" ve "Figure" şeklinde İngilizce karşılıkları da belirtilmelidir. Çizelge ve şekiller mümkün olduğu kadar sade olmalı, içeriklerindeki metin, rakam, sembol vb. unsurlar net olarak görünür ve anlaşılabilir olmalıdır. Şekiller en az 300 dpi çözünürlüğünde ve 8.15 ya da 17 cm genişliğinde hazırlanmalıdır. Şekillerde kullanılan karakterler Times New Roman yazı tipinde ve 8 punto büyüklüğünde olmalıdır.

Makalenin gönderilmesi: Dergimizin tüm hakemlik ve yayıncılık faaliyetleri online olarak [DergiPark Akademik](#) üzerinden yürütülmektedir. Yazarların öncelikle dergimize "[kayıt](#)" olup sisteme "[giriş](#)" yaptıktan sonra, makaleleri ile birlikte "[üst yazı ve telif devir](#)" formunu sisteme yüklemelidirler.

Appendix 1. References

In accordance with generally accepted principles; author, publication year, title, publisher, page numbers and other appropriate information should be given for each reference.

Electronic references: Ordinary internet sites sources with limited credibility and permanence should not be used as an electronic reference. If a publication exists in both print and electronic versions, the print version should be preferred as a reference.

If used, electronic sources should be treated as printed sources; author, year of publication, title of the article or web page, publisher's name and place should be given. DOI numbers should be included at the end if an online-only publication is used as reference.

Periyodik dergilerde makale / Article in periodical journals

Binkley, D., Stape, J.L., Ryan, M.G., 2004. Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management*, 193: 5-16.

Acar, H.H., Ünver, S., 2012. Tomrukların oluk içerisinde traktör gücü ile kontrollü kaydırılması (TOKK-T) yönteminde iş verimliliği. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2): 97-102.

Kitap / Book

Boydak, M., Çalıköğlü, M., 2008. Toros Sedirinin (*Cedrus libani* A. Rich) Biyolojisi ve Silvikültürü. Ormancılık Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı Yayını, Lazer Ofset Matbaası, Ankara.

Oliver, C.D., Larson, B.C., 1996. *Forest Stand Dynamics*. John Wiley and Sons, New York.

Kitapta bölüm / Reference to a chapter in an edited book

Little, C.H.A., Pharis, R.P., 1995. Hormonal control of tree stem growth. In: *Plant Stems: Physiology and Functional Morphology* (Ed: Gartner, B.L.), Academic Press, New York, pp. 281-319.

Öztekin, M., 2014. *Phlomis L. (Çalbalar)*. Türkiye'nin Doğal-Egzotik Ağaç ve Çalıkları (Ed., Akkemik, Ü.), Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, s: 385-389.

Tez / Thesis and dissertation

Gürlevik, N., 2002. Stand and soil responses of a loblolly pine plantation to midrotation fertilization and vegetation control. PhD Dissertation, North Carolina State University, NC, USA.

Işık, F., 1998. Kızılcımanın (*Pinus brutia* Ten.) genetik çeşitlilik, kalıtım derecesi ve genetik kazancın belirlenmesi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

Konferans bildirisi / Conference proceedings

Erdönmez, C., Ok, K., 2009. Özel ağaçlandırmaları etkileyen sosyo-ekonomik etkenler. II. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, 19-21 Şubat, Isparta, s. 74-80.

Erkan, N., 2002. Growth performance of Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) in natural forest and plantation in Turkey. *Proceedings of IUFRO Meeting: Management of Fast Growing Plantations*, 11-13 September, Izmit, Turkey, pp. 67-74.

Elektronik kaynak / Electronic reference

FAO, 2011. Fact and figures: Forest cover. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, <http://www.fao.org/forestry/28808/en/>, Accessed: 22.12.2012.

OGM, 2009. Ormancılık istatistikleri 2009. Resmi istatistik programı kapsamındaki ormancılık istatistikleri, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara, http://web.ogm.gov.tr/Dkmanlar/istatistikler/ormancilik_ist_2009.pdf, Erişim: 06.02.2013.

Ek 1. Kaynaklar

Genel kabul görmüş ilkelere uygun olarak, her bir yayının yazarı, yayın yılı, başlığı, yayıncısı, sayfa numarası ve gerekli diğer bilgileri verilmelidir.

Elektronik kaynaklar: Sıradan bir internet sitesi gibi güvenilirliği ve devamlılığı şüpheli olan elektronik kaynaklar tercih edilmemelidir. Eğer bir kaynağın hem elektronik hem de basılı hali mevcutsa, basılı olanı referans gösterilmelidir.

Eğer kullanılacaksa, elektronik kaynaklar da basılı kaynaklar gibi düşünülmeli; yazar, yayın yılı, makale veya internet sayfasının başlığı, yayıncı adı ve yeri verilmelidir. Sadece çevrimiçi yayın yapan dergilerde DOI numarası da kaynağın sonuna eklenmelidir.

Standartlar/Standarts

TS 2472, 2005. Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, Ankara

ASTM-D 1413-007, 2007. Standart test methods of testing wood preservatives by laboratory soilblock cultures. Annual Book of ASTM Standarts, USA.

Çeviri kaynak/Translated reference

Eyüboğlu, A.K., 1979. Fidan (Çeviri: Cleary, B.D., Greaves, R.D., Owston, P.W., 1978. Seedlings. Oregon State University, School of Forestry, Forest Service U.S. Department of Agriculture, Corvallis, Oregon, USA). Ormancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2:31-69.

Proje raporu/Project report

Yılmaz, E., Abbak, A., Kırış, R., Sayın, M.A., 2015. Orman Amenajman Planlamasının Sosyal Boyutu: Pozantı Orman İşletme Şefliğinde Örnek Uygulama. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Proje Sonuç Raporu, Proje Numarası: 20.5315/2014-2015, Tarsus.

Teknik rapor/Technical report

Davis, C.T., Kellogg, L.D., 2005. Measuring Machine Productivity with the MultiDAT Datalogger: a Demonstration on Three Forest Machines. USDA Forest Service, General Technical Report, PSWGTR-194.

Keskin, S., 1989. Kokulu Ardiç (*J. foetidissima* Willd.) ve Boylu Ardiç (*J. excelsa* Bieb.) Çeliklerinin Köklendirilmesi Üzerine Çalışmalar. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Raporlar Serisi, No: 36-39, Ankara.

Teknik bülten/Technical bulletin

Eyüboğlu, A.K., Atasoy, H., Küçük, M., 1992. Doğu Karadeniz Bölgesinde Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) Orijin Denemelerinin 9 Yıllık Sonuçları. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No: 237, Ankara.

