



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: 3

# 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: 3

## 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                    |
| 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](mailto: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: 3

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

Research

- Aboveground biomass estimation models for *Tectona grandis* Linn f. plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria  
*Onyekachi Chukwu, Ruth Onyekachi Nwene, Anabel Anwulika Emebo, Abigail Emunu Silas* ..... 244-248
- Antagonistic activities of endophytic fungi isolated from pines against *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel  
*Refika Ceyda Beram, Mohammad Rahim Bikzad* ..... 249-257
- Unexpected expansion: Climate change-induced movement of the Cream-colored Courser (*Cursorius cursor*) into Central Anatolia  
*Özkan Evcin*..... 258-266
- Modeling of stand height curves for natural brutian pine stands in Burdur-Pamucak region  
*Serdar Carus., Sahra Karakaş*..... 267-274
- Temporal and spatial analysis of wildlife vehicle collisions: Ankara-Çankırı Highway  
*Ali Uğur Özcan, İbrahim Aytaş, Semih Kuter*..... 275-282
- Determinants of negative local perceptions regarding wildlife reserve  
*Mehmet Korkmaz, Mevlüt Zenbilci, Ahmet Koca, Yasin Ünal*..... 283-289
- Effect of various reinforcements modified with sodium hydroxide on mechanical and physical properties of epoxy based composites  
*Mustafa Kadir Yalman, İlkay Atar, Fatih Mengeloğlu* ..... 290-301
- Determination of some physical and mechanical properties of heart and sapwood of willow (*Salix alba* L.)  
*Musa Kaya, Ramazan Bülbül, Vedat Çavuş*..... 302-312
- Comparison of finite element models for doveled furniture corner joints made of beech (*Fagus orientalis* L.) and black pine (*Pinus nigra*) wood  
*Şeydanur Şanlıhılal, Ergün Güntekin* ..... 313-319
- The effect of resin type on the properties of fibreboards coated with digilam decor papers used in interior design  
*Celal Uğur* ..... 320-324
- The effect of the use of phenol formaldehyde resin in different rates on some physical and mechanical properties of particle boards  
*Mert Tuğberk Kavut, Mahmut Ali Ermeydan, Eylem Dizman Tomak*..... 325-332
- Air quality impact of natural protected areas: A case study of Sarayıçi Tavuk Forest, Edirne, Türkiye  
*Eylül Malkoç*..... 333-339
- Examination of the usage possibilities of some natural herbaceous species of Sivas (Türkiye) in landscape design  
*Selvinaz Gülçin Bozkurt*..... 340-350

İÇİNDEKİLER

Araştırma

- Nnamdi Azikiwe Üniversitesi, Awka, Nijerya'daki *Tectona grandis* Linn f. plantasyonunun yerüstü biyokütle tahmin modelleri  
*Onyekachi Chukwu, Ruth Onyekachi Nwene, Anabel Anwulika Emebo, Abigail Emunu Silas* ..... 244-248
- Çam ağaçlarından izole edilen endofitik fungusların *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel'e Karşı Antagonistik Etkilerinin belirlenmesi  
*Refika Ceyda Beram, Mohammad Rahim Bikzad* ..... 249-257
- Beklenmeyen dağılım: İklim değişikliği sonucu Çöl Koşarı'nın (*Cursorius cursor*) Orta Anadolu'ya hareketi  
*Özkan Evcin* ..... 258-266
- Burdur-Pamucak yöresi doğal kızılçam meşcereleri için meşcere boy gelişiminin modellenmesi  
*Serdar Carus,, Sahra Karakaş* ..... 267-274
- Yaban hayatı araç çarpışmalarının zamansal ve mekânsal analizi: Ankara-Çankırı Karayolu  
*Ali Uğur Özcan, İbrahim Aytaş, Semih Kuter* ..... 275-282
- Yaban hayatı geliştirme sahalarına ilişkin olumsuz yerel algıların belirleyicileri  
*Mehmet Korkmaz, Mevlüt Zenbilci, Ahmet Koca, Yasin Ünal* ..... 283-289
- Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi  
*Mustafa Kadir Yalman, İlkay Atar, Fatih Mengeloğlu* ..... 290-301
- Söğüt ağacının (*Salix alba* L.) öz ve diri odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi  
*Musa Kaya, Ramazan Bülbül, Vedat Çavuş* ..... 302-312
- Kayın (*Fagus orientalis* L.) ve karaçam (*Pinus nigra*) odunu kullanılarak oluşturulan kavelalı mobilya köşe birleştirmeleri için sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırılması  
*Şeydanur Şanlıhilal, Ergün Güntekin* ..... 313-319
- İç mekân tasarımında kullanılan dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış lif levhaların fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri üzerine reçine türünün etkisi  
*Celal Uğur* ..... 320-324
- Fenol formaldehit reçinesinin farklı oranlarda kullanımının yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi  
*Mert Tuğberk Kavut, Mahmut Ali Ermeydan, Eylem Dizman Tomak* ..... 325-332
- Doğal sit alanlarının hava kalitesine etkisi: Sarayıçi Tavuk Ormanı, Edirne, Türkiye  
*Eylül Malkoç* ..... 333-339
- Sivas'ın bazı doğal otsu türlerinin peyzaj tasarımında kullanım olanaklarının incelenmesi  
*Selvinaz Gülçin Bozkurt* ..... 340-350

## Aboveground biomass estimation models for *Tectona grandis* Linn f. plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria

Onyekachi Chukwu<sup>a,\*</sup> , Ruth Onyekachi Nwene<sup>a</sup> , Anabel Anwulika Emebo<sup>b</sup> , Abigail Emunu Silas<sup>c</sup> 

**Abstract:** Tree biomass is considered a useful indicator of structural and functional attributes of forest ecosystems across a wide range of environmental conditions. The aboveground biomass (AGB) refers to the living vegetation above the soil, including stems, stumps, branches, bark, seeds, and foliage. Teak (*Tectona grandis* Linn f.) is a popular exotic tree species in Nigeria; it is widely grown in large-scale and small community woodlots. The objective of this study was to develop models for the estimation of biomass content of Teak plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria for sustainable management. Data on the diameter at breast height (DBH), stump diameter (Ds), and total height (TH) of all teak stands in the plantation were recorded. A non-destructive method using an existing equation was used to estimate the AGB of the individual stands from Ds. The data was subjected to descriptive statistics, bivariate correlation analysis and fitted to six (6) linear regression functions. A total of 295 trees were measured with a mean AGB of 18.61 kg. Out of the AGB prediction models developed for the study area, the Semi Log 3 (B5) model had the best predictive ability; with the highest adjusted coefficient of determination (0.984) and the lowest standard error of estimate (0.308), and Akaike information criterion (-690.974). Model B5 is therefore recommended for future inventory and management of the plantation.

**Keywords:** Carbon stocks, Forest inventory, Forest modelling, Regression, Tree growth variables

## Nnamdi Azikiwe Üniversitesi, Awka, Nijerya'daki *Tectona grandis* Linn f. plantasyonunun yerüstü biyokütle tahmin modelleri

**Özet:** Ağaç biyokütlesi, çok çeşitli çevresel koşullarda orman ekosistemlerinin yapısal ve işlevsel özelliklerinin önemli bir göstergesi olarak kabul edilir. Topraküstü biyokütle (TÜB), gövde, kütük, dal, kabuk, tohum ve yapraklar dahil olmak üzere toprağın üstündeki canlı bitki örtüsünü ifade etmektedir. Tik (*Tectona grandis* Linn f.), Nijerya'da popüler bir egzotik ağaç türü olup büyük ve küçük topluluklar halinde ormanlık alanlarda yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir yönetim için Nijerya Awka'daki Nnamdi Azikiwe Üniversitesi'nde bulunan tik plantasyonundaki biyokütle miktarının tahmini için modeller geliştirmektir. Plantasyondaki tüm tik ağaçlarının göğüs yüksekliği çapı (DBH), kütük çapı (Ds) ve toplam ağaç boyu (TH) ölçülmüştür. Kütük çapını bir değişken olarak kullanılan bir denklem yardımıyla tüm ağaçların topraküstü biyokütle miktarları tahmin edilmiştir. Verilere ait tanımlayıcı istatistikler belirlenmiş, iki değişkenli korelasyon analizi yapılmış ve altı (6) doğrusal regresyon fonksiyonu geliştirilmiştir. Toplamda 295 ağaç ile gerçekleştirilen bu çalışmada, ortalama topraküstü biyokütle miktarı 18.61 kg olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen modeller arasında en başarılı model, en yüksek düzeltilmiş belirlenme katsayısı (0,984), en düşük tahminin standart hatası (0,308) ve en düşük Akaike bilgi kriteri (-690,974) ile Semi Log 3 (B5) modeli olmuştur. Bu nedenle, Model B5, plantasyonun gelecekteki envanteri ve yönetimi için önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Karbon bütçesi, Orman envanteri, Orman modelleme, Regresyon, Ağaç büyüme değişkenleri

### 1. Introduction

Tree biomass is considered a useful indicator of structural and functional attributes of forest ecosystems across a wide range of environmental conditions (Brown et al., 1999), it is the accumulated mass, above and below ground. Aboveground biomass (AGB) is the living vegetation above the soil, including stems, stumps, branches, bark, seeds, and foliage. Forest ecosystems play an important role in climate change mitigation by sequestering carbon from the atmosphere (Baccini et al., 2017; Mitchard et al., 2018;), as such, about 50% of global carbon is stocked in tropical

forests, while a majority (60%) of the carbon is found in the AGB of the forests (Pan et al., 2011) and are considerable carbon sink (Brown, 1997). Hence, accurate assessment of biomass estimate of a forest is important for many applications like timber extraction, tracking changes in the carbon stocks of forests, and the global carbon cycle.

Tree biomass can be quantified by either harvest (direct method) or allometric equations (indirect method) (Chave et al., 2005). Conversion of data collected from the field to usable AGB requires the use of allometric models. These equations use tree variables like tree stem; diameter at breast height (DBH), total height (TH) and, sometimes, wood

<sup>a</sup> Department of Forestry and Wildlife, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria

<sup>b</sup> Forest and Ecosystem Sciences, Georg-August University of Göttingen, Germany

<sup>c</sup> Department of Forestry and Wildlife Management, Federal University Wukari, Wukari, Nigeria

\* **Corresponding author** (İletişim yazarı): onye20042000@yahoo.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 19.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 21.07.2024



**Citation** (Atıf): Chukwu, O., Nwene, R.O., Emebo, A.A., Silas, A.E., 2024. Aboveground biomass estimation models for *Tectona grandis* linn f. plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 244-248.

DOI: [10.18182/tjf.1502454](https://doi.org/10.18182/tjf.1502454)

density (WD) of the species to estimate tree biomass (Brown et al., 1989). Studies have shown that information about AGB is necessary for estimating and forecasting ecosystem productivity, carbon budgets, nutrient allocation, and fuel accumulation (Brown et al., 1999; Kurz and Apps, 1999). Most studies of biomass employ allometric models to quantify AGB because harvesting and weighing trees is destructive and expensive. Although allometric modeling has been used since the development of regression analyses in the first half of the 20th century (Machado and Figueiredo, 2003), only a few allometric models are available to estimate AGB of tropical forests (Cole and Ewel, 2006), especially for Teak plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria.

Teak (*Tectona grandis* Linn f.) is a deciduous tree from the Lamiaceae family, and it is a valuable wood due to its resistance to weather and elastic fiber (Tsoumis, 1991). It was introduced to several countries before 1900 (Verhaegen et al., 2010) and it is known to perform well in plantations under favorable conditions. It has been gathered that the Teak plantation in Nnamdi Azikiwe University Awka was raised to serve as a shelterbelt to the School of Postgraduate Studies' building to counteract soil degradation by restoring vegetation cover while decreasing the existing pressure on native forests and increasing soil carbon (C) and nitrogen (N) pools. Quantification of Biomass is considered a time-consuming activity, especially the measurement of variables like foliage or branch biomass. Therefore, there is a need to develop useful, indirect methods for estimating the variables that are difficult to measure (AGB). The main objective of this study is to develop aboveground biomass estimation models to determine the best-suited model for the Teak plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study site

The study was carried out in the 7-year-old Teak plantation at the College of Postgraduate Studies (CPGS), Nnamdi Azikiwe University (NAU), located in Awka South Local Government Area, Anambra State, Nigeria (Figure 1). The University is within the tropical rainforest zone and lies from latitude 6°10'N to 6°17'N and Longitudes 7°2.4'E to 7°7.2'E (Chukwu and Emebo, 2020; Chukwu et al., 2020).

### 2.2. Data collection and data analysis

This study utilized secondary inventory data from the Teak plantation by Emebo (2019) in the College of Postgraduates, Nnamdi Azikiwe University, Awka. Tree growth variables used were the total height (m), stump diameter, and the diameter at breast height (cm) (i.e., Ds and DBH measured at 0.3 m and 1.3 m, respectively). The data were processed and subjected to descriptive statistics.

The AGB of *Tectona grandis* stands in the plantation was estimated using the AGB model developed by Chukwu and Ezenwenyi (2020) for *Tectona grandis* Linn. f. plantations within the Nigerian Tropical Rainforests.

The model is expressed as:

$$\ln \text{AGB} = 2.403 + 0.026Ds \tag{1}$$

$$\text{AGB} = e^{2.403+0.026Ds} \tag{2}$$

Where, AGB= aboveground biomass (kg), ln =natural logarithm, e= exponential and Ds= stump diameter (cm)

Six (6) linear regression functions were then fitted to the data with the computed AGB as the dependent variable and DBH and TH as independent variables. The least squares method was used to estimate the regression parameters. The linear biomass functions used for this study are presented in Table 1.

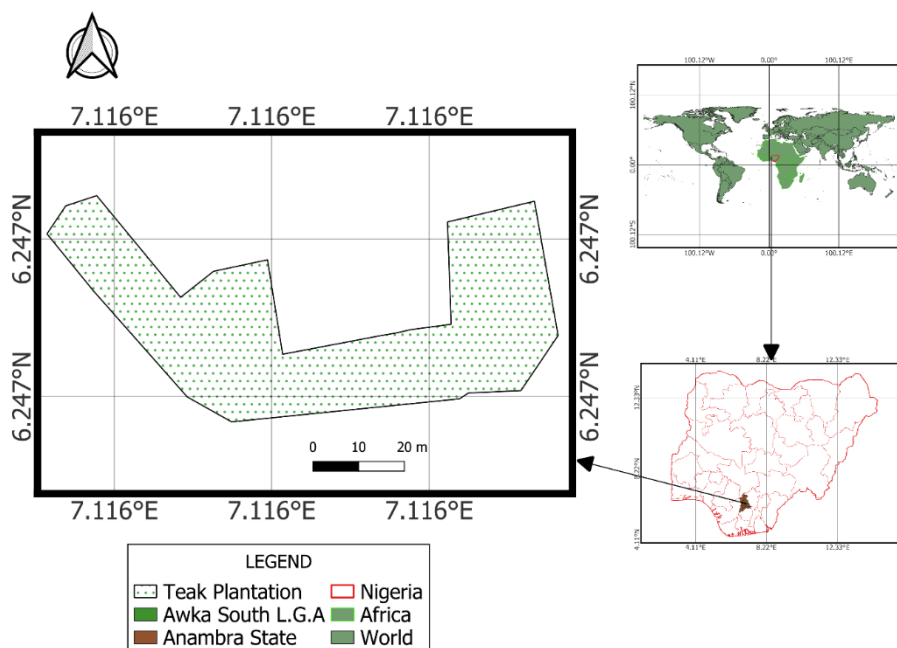


Figure 1. Map of the study area (Modified from Chukwu et al., 2020)

Table 1. Candidate biomass functions

| Model code | Function name   | Function form                                | Equation no. |
|------------|-----------------|--|--------------|
| B1         | Simple linear   | $AGB_i = b_0 + b_1 DBH_i$                    | 3            |
| B2         | Semi Log 1      | $AGB_i = b_0 + b_1 \ln DBH_i$                | 4            |
| B3         | Multiple linear | $AGB_i = b_0 + b_1 DBH_i + b_2 TH_i$         | 5            |
| B4         | Semi Log 2      | $AGB_i = b_0 + b_1 \ln DBH_i + b_2 TH_i$     | 6            |
| B5         | Semi Log 3      | $AGB_i = b_0 + b_1 DBH_i + b_2 \ln TH_i$     | 7            |
| B6         | Semi Log 4      | $AGB_i = b_0 + b_1 \ln DBH_i + b_2 \ln TH_i$ | 8            |

Where  $AGB_i$  = individual tree aboveground biomass,  $DBH_i$  = individual tree diameter at breast height,  $TH_i$  = individual tree total height,  $b_0$ ,  $b_1$  and  $b_2$  = regression parameters.

The best model was selected using statistical goodness of fit indices; coefficient of determination ( $Adj.R^2$ ), standard error of estimate (SEE), and Akaike information criterion (AIC). A model with the lowest value of SEE and AIC, and the highest value of  $Adj.R^2$  was regarded as best. The goodness of fit indices are expressed as:

$$Adj.R^2 = 1 - \frac{(1-R^2)(n-1)}{n-p} \quad (9)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad (10)$$

$$AIC = 2p + n \ln\left(\frac{RSS}{n}\right) \quad (11)$$

Where,  $Adj.R^2$  = adjusted coefficient of determination,  $SEE$  = standard error of estimate,  $AIC$  = Akaike information criterion,  $Y_i$  = observed value of  $Y$  for observation  $i$ ;  $\hat{Y}_i$  = predicted value  $i$ ,  $n$  = the total number of observation  $Y_i$  (trees) used to fit the model, and  $p$  = the number of model fixed parameter.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Data summary

A total of 295 trees were used and the summary statistics can be seen in Table 2. The distribution of DBH from minimum to maximum ranged from 3.4 cm to 18.0 cm, TH ranged from 1.8 m to 17.3 m, and the AGB ranged from 14.410 kg to 27.110 kg. The results show the existence of a strong relationship between AGB and DBH. This agrees with the result from Ige (2018), which shows a strong relationship between DBH and AGB, with an  $Adj.R^2$  value of 0.911. Pearson correlation analysis with DBH and AGB was also having the highest correlation; this implies that biomass and diameter at breast height have a linear relationship (Figure 2), this means that as DBH increases, AGB also increases. This also agrees with Ige (2018), who recorded a strong relationship between AGB and all tree growth variables. The TH and DBH also show a strong relationship which also means that an increase in the TH also yields a corresponding increase in the DBH.

Table 2. Summary statistics of tree growth variables for model calibration

| Growth variables | Min.  | Max.  | Mean  | Std. error | Std. dev. | Skewness |
|------------------|-------|-------|-------|------------|-----------|----------|
| DBH (cm)         | 3.4   | 18.0  | 8.9   | 0.19       | 3.23      | 0.29     |
| THT (m)          | 1.8   | 17.3  | 10.6  | 0.23       | 3.93      | -0.41    |
| AGB (kg)         | 14.41 | 27.11 | 18.61 | 0.14       | 2.46      | 0.60     |

Total number of trees=295, DBH=diameter at breast height, TH=total height, AGB=aboveground biomass

Figure 2 shows a straight linear relationship between AGB and DBH while a curved linear relationship between AGB and TH. They showed that as DBH and TH increase, the AGB increases.

#### 3.2. Biomass estimation models

The results of the individual tree-level models developed for predicting biomass (AGB) from DBH and TH are shown in Table 3. DBH often is used to predict AGB for tropical trees and shrubs (Chave et al., 2014; Ali et al., 2015). The results revealed that model B5 (Semi Log 3) gave the lowest values of SEE (0.308) and AIC (-690.974), and the highest value of  $Adj.R^2$  (0.98). However, Simple linear (B1), Semi Log 1 (B2), Multiple linear (B3), Semi Log 2 (B4), and Semi Log 4 (B6) have  $Adj.R^2$  values of 0.98, 0.90, 0.98, 0.90 and 0.901 respectively, SEE values of 0.311, 0.776, 0.310, 0.777 and 0.772 respectively and AIC values of -687.816, -147.632, -688.700, -145.931 and -149.718 respectively. All parameters were found to be significant at 95% level of probability. This result also agrees with the findings by Chave et al. (2014), which announced the Semi Log to be the best model for estimating the AGB of tropical trees.

The result from this study also disagrees with the findings of Basuki et al. (2009) where the DBH-only model proved more accurate in biomass estimation. Claesson et al. (2001) and Aabeyir et al. (2020) argued that using only one response variable in allometric models to estimate biomass was less accurate; hence, out of the 6 models fitted, model B3 (Equation 5) performed best based on the data set, with DBH and TH as the response variables and showed a fair error distribution in a scattered plot (Figure 3). The AGB models developed in this study showed high  $Adj.R^2$  and low SEE. A low SEE value is an indication of a model's good fit and suggests a good predictive ability of such a model (Adekunle et al., 2004). The high  $Adj.R^2$  results from this study suggested that a very large proportion of the variation in tree AGB was explained by DBH and TH for the stands.

$$AGB_i = 12.058 + 0.764 DBH_i - 0.105 \ln TH_i \quad (12)$$



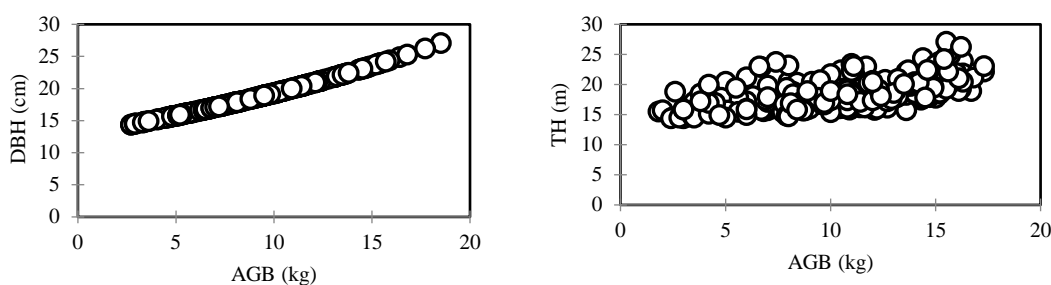


Figure 2. Relationship between AGB, and DBH and TH

Table 3. Model parameters and goodness of fit indices for biomass estimation

| M/Code | Model parameters |       | Fit indices |            |       |          |      |
|--------|------------------|-------|-------------|------------|-------|----------|------|
|        | $b_0$            | $b_1$ | $b_2$       | Adj. $R^2$ | SEE   | AIC      | Rank |
| B1     | 11.900           | 0.755 |             | 0.98       | 0.311 | -687.816 | 3    |
| B2     | 6.172            | 5.890 |             | 0.90       | 0.776 | -147.632 | 5    |
| B3     | 11.939           | 0.763 | -0.010      | 0.98       | 0.310 | -688.700 | 2    |
| B4     | 6.148            | 5.942 | -0.008      | 0.90       | 0.777 | -145.931 | 6    |
| B5     | 12.058           | 0.764 | -0.105      | 0.98       | 0.308 | -690.974 | 1    |
| B6     | 6.336            | 6.073 | 6.073       | 0.90       | 0.772 | -149.718 | 4    |

M/Code= Model code, B1=Simple Linear, B2= Semi Log 1, B3= Multiple Linear, B4= Semi Log 2, B5= Semi Log 3, B6= Semi Log 4. SEE= standard error of estimate, and AIC= Akaike information criterion.

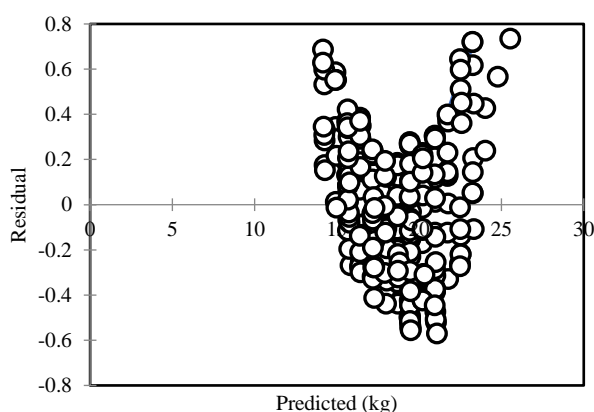


Figure 3. Residual Plot for Semi Log 3

The graphical analysis for the models indicated an even spread of residual above and below the zero mean, with no systematic trend. The positive and negative sides of the plot have a constant breadth and are horizontal. The derivation of the predicted values from the observed values could be said to be random. This indicates that the assumption of normality and homoscedasticity in the distribution was not violated. This agrees with the report of Yang et al. (2019) for linear regression.

#### 4. Conclusion

In conclusion, this study developed a dependable model for estimating the aboveground biomass for Teak plantation. Based on the evaluation of the models examined; the Semi Log 3 model was found to be the most suitable model fit for biomass prediction. The model provided a non-destructive method of predicting the AGB of the Teak stands and an input for estimating the carbon sequestered by the stand. Hence, the model was recommended as a basic tool for further management of the plantation.

#### References

Aabeyir, R., Adu-Bredu, S., Agyare, W.A., Weir, M.J.C., 2020. Allometric models for estimating aboveground biomass in the tropical woodlands of Ghana, West Africa. *Forest Ecosystems*, 7(1): 1-23.

Adekunle, V.A.J., Akindele, S.O., Fuwape, J.A., 2004. Structure and yield models of tropical lowland rainforest ecosystem of southwest Nigeria. *Food, Agriculture and Environment*, 2(2): 395-399.

Ali, A., Xu, M.S., Zhao, Y.T., Zhang, Q.Q., Zhou, L.L., Yang, X.D., Yan, E.R., 2015. Allometric biomass equations for shrub and small tree species in subtropical China. *Silva Fennica*. 49: 1-10.

Baccini, A., Walker, W., Carvalho, L., Farina, M., Sulla-Menashe, D., Houghton, R.A., 2017. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358(6360): 230-234.

Basuki, T.M., Van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257(8): 1684-1694.

Brown, S., Gillespie, A.R., Lugo, A.E., 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35: 881-902.

Brown, S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer (FAO Forestry Paper-134), FAO, United Nations, Rome, Italy.

Brown, S.L., Schroeder, P., Kern, J.S., 1999. Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 123: 81-90.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J.C., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87-99.

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10): 3177-3190.

- Chukwu, O., Emebo, A.A., 2020. Nonlinear yield models for young *Tectona grandis* L. f. stands in Nnamdi Azikiwe University Awka, Southeastern Nigeria. *Tropical Plant Research*, 7(3): 678-683.
- Chukwu, O., Ezenwenyi, J.U., 2020. Utilization of Tree Stump Dimension in Forest Modelling and Management. In: *Research Trends in Multidisciplinary Research Volume – 14* (Ed: Jayakumar, R.), AkiNik Publications, New Delhi, India, pp.103-121.
- Chukwu, O., Ezenwenyi, J.U., Kenechukwu, T.V., 2020. Checklist and abundance of open grown medico-ethnoforest tree species in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria. *Asian Journal of Biological Sciences*, 13(1): 105-112.
- Claesson, S., Sahlen, K., Lundmark, T., 2001. Functions for biomass estimation of young *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula* spp. From stands in Northern Sweden with high stand densities. *Scandinavian Journal Forest Research*, 16: 138–146.
- Cole, T.G., Ewel, J.J., 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecology and Management*, 229 (1-3): 351-360.
- Emebo, A.A., 2019. Inventory analysis and volume models of for *Tectona grandis* Linn. f. plantation in Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria. Bachelor's Project, Department of Forestry and Wildlife, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria.
- Ige, P.O., 2018. Above ground biomass and carbon stock estimation of *Gmelina arborea* (Roxb.) stands in Omo Forest Reserve, Nigeria. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 10(4): 71-80.
- Kurz, W.A., Apps, M.J., 1999. A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian forest sector. *Ecological Applications*, 9(2): 526-547.
- Machado, S.A., Figueiredo, A. 2003. *Dendrometria*. UFPR, Curitiba. 309 p
- Mitchard, E.T.A., 2018. The tropical forest carbon cycle and climate change. *Nature*, 559: 527–534.
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Philips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D., 2011. A large and persistent carbon sink in the World's forests. *Science*, 333 (6045): 988–993.
- Tsoumis, G., 1991. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Verhaegen, D., Fofana, I.J., Logossa, Z.A., Ofori, D., 2010. What is the genetic origin of teak (*Tectona grandis* L.) wood resources and their contribution to supply chains of commercial wood. *Australian Forestry*, 80:10–25.
- Yang, K., Tu, J., Chen, T., 2019. Homoscedasticity: an overlooked critical assumption for linear regression. *General Psychiatry*, 32: e100148.

## Antagonistic activities of endophytic fungi isolated from pines against *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel

Refika Ceyda Beram<sup>a,\*</sup> , Mohammad Rahim Bikzad<sup>a</sup> 

**Abstract:** *Diplodia sapinea*, an endophytic fungus belonging to the Ascomycota, is commonly found on coniferous trees. While it typically exists as an endophyte, it can transform into an opportunistic pathogen under abiotic stress factors such as drought induced by climate change. The fungus enters the host through stomata on needles or via injured tissues, causing a disease known as Diplodia tip blight. This disease affects trees in various environments, including nurseries, plantation areas, natural forests, and urban trees. The prevalence of *D. sapinea* has significantly increased in Europe in recent years, and there is currently no established and effective control method worldwide. In response to this challenge, biological control method utilizing antagonist organisms have emerged as a promising alternative to combat Diplodia tip blight. The objective of this study is to evaluate the antagonistic activities of endophytic fungi isolated from different pine tree tissues against *D. sapinea* isolates obtained from *Pinus halepensis* and *Pinus brutia* under *in vitro* conditions. Identification of the isolates was carried out using both morphological and molecular methods. Fungal inhibition tests were conducted to assess the interaction between these isolates and *D. sapinea* isolates. The results of the tests revealed that 15 fungi, including *Trichoderma* sp. and *Sydowia polyspora*, demonstrated the potential to inhibit the growth of *D. sapinea in vitro*.

**Keywords:** Antagonism, Biological control, Diplodia tip blight, Fungal endophyte, Türkiye

## Çam ağaçlarından izole edilen endofitik fungusların *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel'e karşı antagonistik etkilerinin belirlenmesi

*Diplodia sapinea*, Ascomycota'ya ait endofitik bir fungustur ve genellikle iğne yapraklı ağaçlarda bulunur. Bu fungus genellikle endofit olarak varlık gösterse de, iklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık gibi abiyotik stres faktörleri altında fırsatçı bir patojene dönüşebilmektedir. Fungus, iğne yaprakların üzerindeki stomalar veya yaralı dokular aracılığıyla konukçusuna girmekte ve Diplodia sürgün yanıklığı olarak bilinen bir hastalığa yol açmaktadır. Bu hastalık, fidanlık, plantasyon alanları, doğal ormanlar ve kentsel ağaçlar gibi çeşitli ortamlardaki ağaçları etkilemektedir. Son yıllarda *D. sapinea*'nin Avrupa'da yaygınlığı önemli ölçüde artmış olup, dünya genelinde halen yerleşik ve etkili bir kontrol yöntemi bulunmamaktadır. Bu soruna yanıt olarak, antagonist organizmalar kullanılarak yapılan biyolojik mücadele yöntemi, *Diplodia* sürgün kurumasına karşı umut verici bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı çam ağacı dokularından izole edilen endofitik fungusların, *Pinus halepensis* ve *Pinus brutia*'dan elde edilen *D. sapinea* izolatlarına karşı *in vitro* koşullarda antagonistik aktivitelerinin değerlendirilmesidir. İzolatların teşhisleri hem morfolojik hem de moleküler yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu izolatların *D. sapinea* izolatları ile olan etkileşimlerini değerlendirmek amacıyla fungal inhibisyon testleri yapılmıştır. Test sonuçları, *Trichoderma* sp. ve *Sydowia polyspora* da dahil olmak üzere 15 fungusun *in-vitro* olarak *D. sapinea*'nin gelişimini inhibe etme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Antagonizm, Biyolojik mücadele, Diplodia sürgün yanıklığı, Endofitik fungus, Türkiye

### 1. Introduction

Plants are constantly interacting with a wide range of microorganisms. These microorganisms can be found colonising the soil and subsoil organs of the plant (root microorganisms), on the plant surface (epiphytes) and in the internal tissues of plants (endophytes). Endophytes are assumed to be organisms that colonise the living internal tissues of plants and live without causing any significant damage. These microorganisms can produce secondary metabolites that can directly inhibit insects and pathogens or stimulate the plant to activate passive resistance mechanisms. Therefore, the use of antagonistic microorganisms such as endophytes is one of the most ideal methods of plant disease control and holds great promise in the biocontrol of diseases

(Trejo-Estrada et al., 1998). Considering their coordinated functions, the secondary metabolites they produce and their effective role in biological control, it is of great importance to discover new and interesting endophytic microorganisms from numerous plants living in different conditions and ecosystems. Thus, it is possible to develop new and effective strategies with measures taken with microorganisms such as endophytes in biological control. It is estimated that many important endophytes are waiting to be discovered in nature and whose effects are not yet known (Beram et al., 2016).

*Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel [syn.; *Diplodia pinea* (Desm.) J. Kickx f., *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko & B. Sutton] is one of the most common and dangerous fungal pathogens of coniferous trees worldwide. It was identified as a saprobic fungus in Europe in the early 19th century, and its

✉ <sup>a</sup> Pamukkale University, Faculty of Science, Department of Biology, 20160, Denizli, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): rberam@pau.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 21.02.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 27.06.2024



**Citation** (Atf): Beram, R.C., Bikzad, M.R., 2024. Antagonistic activities of endophytic fungi isolated from pines against *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 249-257.  
DOI: [10.18182/tjf.1440664](https://doi.org/10.18182/tjf.1440664)

damage and prevalence have been increasing rapidly since the 1980s (Brodde et al., 2019; Blumenstein et al., 2020). The fungus enters the host through stomata from the needles or through injured tissues. In coniferous trees, it causes various disease symptoms such as discoloration of needles, backward death of current year shoots, crown wilt, stem cancer, root collar and root rot, damping-off of seedlings, seed rot and blue colouration of sapwood (Brookhouser and Peterson, 1971; Munck et al., 2009; Capretti et al., 2013). In addition to nearly 50 pine species, the fungus has also been detected in coniferous species such as *Pseudotsuga* spp., *Abies* spp., *Picea* spp., *Larix* spp., and *Cedrus* spp. (Kaya et al., 2014; Zlatković et al., 2017; Oskay et al., 2018).

There are different stages in the life cycle of *D. sapinea*. While the fungus can exist as an asymptomatic endophyte on the host tree, it can also transform from a latent pathogen to an opportunistic pathogen and/or a saprotroph fungus (Swart and Wingfield 1991; Diekmann et al., 2002). With stress factors such as drought, hail, extreme temperatures or mechanical injury (Parnell, 1957; Chou, 1987), it can rapidly become pathogenic and cause sudden disease outbreaks (Stanosz et al., 2001; Langer et al., 2011; Blumenstein et al., 2021). The fungus can increase in nurseries, plantation areas and natural forests under hot climatic conditions and becomes more aggressive due to stress factors such as drought (Blumenstein et al., 2021). Due to the endophytic stage of *D. sapinea*, disease outbreaks caused by this pathogen in the host can progress undetected while still small in scale (Brodde et al., 2019).

The presence of *D. sapinea* in Türkiye was first reported by Ünligil and Ertaş (1993) on shoots of *P. pinaster* Aiton. and *P. pinea* L. near Kemerburgaz, northwest of Istanbul. In another study by Sümer (2000), the presence of the fungus was mentioned on *P. nigra* Arnold, *P. brutia* var. *eldarica* and *P. brutia* stands in Kahramanmaraş region. So far, this fungal agent has been reported in many species such as *P. nigra*, *P. sylvestris* L., *P. brutia* Ten., *P. pinea*, *P. halepensis* Mill, *Cedrus libani* A. Rich. and *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. in Türkiye (Ünligil and Ertaş 1993; Sümer, 2000; Soyulu et al., 2001; Yeltekin, 2015; Oskay et al., 2018; Kaya et al., 2014; Kaya et al., 2019). The damage caused by this fungus has increased dramatically in recent years in Europe and in Türkiye. There is not yet an established and effective control method used in the world for the control of this disease agent.

In recent decades, there has been a growing interest in screening and testing endophytic fungi for their potential to act as antagonists against pathogenic fungi (Rodriguez et al., 2009; Bamisile et al., 2018; Silva et al., 2019). Currently, the use of endophytes as biocontrol agents in forestry is a developing area of research (Witzell et al., 2014; Terhonen et al., 2018, Terhonen et al., 2019; Prospero et al., 2021). Exploring and testing endophytic fungi for their antagonistic potential against forest pathogens have shown promise in developing novel biocontrol agents for managing such pathogens (Tellenbach et al., 2013; Raghavendra and Newcombe, 2013; Terhonen et al., 2018; Costa et al., 2020; Kowalski and Bilański, 2021; Oliva et al., 2021; Blumenstein et al., 2021).

Diplodia shoot blight, caused by *D. sapinea*, is an emerging disease throughout Türkiye, posing a significant and increasing threat to pine forests in the country. Therefore, it is of utmost importance to develop effective management strategies to mitigate its impact. Previous research has

suggested that fungal endophytes in pine trees could play a pivotal role in the biological control of this pathogen. This study aims to evaluate the antagonistic activities of endophytic fungi against *D. sapinea* under controlled *in vitro* conditions, utilizing fungal inhibition tests in dual cultures. The fungal endophytes and the *D. sapinea* isolates were obtained from various tissues including seeds, needles, and shoots of five different pine species (*Pinus* spp.) from Türkiye and identified using morphological and molecular methods. By assessing the biological control potential of these endophytic isolates, we aim to advance our understanding of sustainable strategies for managing Diplodia shoot blight. This research has the potential to significantly contribute to the development of innovative and environmentally friendly approaches for combating Diplodia shoot blight in Turkish pine forests.

## 2. Material and method

### 2.1. Fungal isolation

#### 2.1.1. Isolation of the pathogenic fungi

*D. sapinea* isolates used in the experiment were obtained from symptomatic *P. halepensis* and *P. brutia* shoots (Table 1). After conducting macroscopic and microscopic examinations, isolations were carried out from symptomatic shoots and cones. The spores were plated onto 2% Potato Dextrose Agar (PDA; Merck, Germany) supplemented with 0.5 mg/ml streptomycin sulfate in 90 mm diameter Petri dishes. These cultures were then incubated for seven days at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Hyphal tips of fungi emerging from tissue pieces were transferred to fresh PDA, and ultimately, single-spore cultures were grown on PDA at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Indicator isolates were selected from different haplotype groups of *D. sapinea* isolates.

#### 2.1.2. Isolation of the endophytic fungi

Endophytic fungi were obtained from various pine tree tissues, including seeds, needles, shoots, and cones (Table 2). After surface sterilizations, the tissues were plated onto 2% PDA supplemented with 0.5 mg/ml streptomycin sulfate in 90 mm diameter Petri dishes. These cultures were then incubated for seven days at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Hyphal tips of fungi emerging from tissue pieces were carefully transferred to fresh PDA. Single-spore cultures were cultivated on PDA at  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ .

### 2.2. Identification of fungi

#### 2.2.1. Morphological identification of fungi

The identification of fungi on the basis of their macroscopic and microscopic characteristics has been carried out using various sources related to the subject (Ryvarden, 1978; Bernicchia, 2005). Macroscopic characteristics of fungal spores were determined by using culture colour and shape, and microscopic characteristics were determined by examining the colour, shape, wall characteristics and spore size of the spores. Conidia were mounted in water and dimensions were measured at  $100\times$  using an Olympus compound microscope and the program Olympus DP-Soft.

Table 1. *Diplodia sapinea* isolates used in the study and their characteristics

| Code  | Host                 | Location | Tissue/substrate           | Habitat                                   |
|-------|----------------------|----------|----------------------------|---|
| DS80  | <i>P. halepensis</i> | İzmir    | Symptomatic shoot          | Natural <i>P. halepensis</i> forest stand |
| DS85  | <i>P. halepensis</i> | İzmir    | Symptomatic shoot          | Natural <i>P. halepensis</i> forest stand |
| DS99  | <i>P. brutia</i>     | Muğla    | Old cone from forest floor | Natural <i>P. brutia</i> forest stand     |
| DS110 | <i>P. brutia</i>     | Antalya  | Old cone from forest floor | Natural <i>P. brutia</i> forest stand     |

Table 2. Source of endophytic fungal isolates used in the study

| Code  | Host                                     | Location          | Tissue/Substrat                             | Habitat                                   |
|-------|--|-------------------|---|---|
| E1CF  | <i>P. pinea</i>                          | İzmir/Bergama     | Healthy looking bud                         | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E2CS  | <i>P. sylvestris</i>                     | Çankırı/Eldivan   | Old needle from forest floor                | Natural <i>P. sylvestris</i> forest stand |
| E3CS  | <i>P. sylvestris</i>                     | Çankırı/Eldivan   | Wood from dead tree                         | Natural <i>P. sylvestris</i> forest stand |
| E4CS  | <i>P. sylvestris</i>                     | Çankırı/Eldivan   | Wood from dead tree                         | Natural <i>P. sylvestris</i> forest stand |
| E5CF  | <i>P. pinea</i>                          | İzmir/Bergama     | Healthy looking bud                         | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E6CZ  | <i>P. brutia</i>                         | Denizli/Bozkurt   | Symptomatic shoot                           | <i>P. brutia</i> plantation site          |
| E7CF  | <i>P. pinea</i>                          | İzmir/Bergama     | Healthy looking cone                        | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E8CZ  | <i>P. brutia</i>                         | Denizli/Bozkurt   | Healthy looking shoot from symptomatic tree | <i>P. brutia</i> plantation site          |
| E9CZ  | <i>P. brutia</i>                         | Denizli/Bozkurt   | Healthy looking shoot from symptomatic tree | <i>P. brutia</i> plantation site          |
| E10CZ | <i>P. brutia</i>                         | Denizli/Bozkurt   | Symptomatic shoot from symptomatic tree     | <i>P. brutia</i> plantation site          |
| E11CK | <i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> | Denizli/Acıpayam  | Healthy looking cone from symptomatic tree  | Natural <i>P. nigra</i> forest stand      |
| E12CK | <i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> | Denizli/Acıpayam  | Healthy looking shoot from symptomatic tree | Natural <i>P. nigra</i> forest stand      |
| E13CH | <i>P. halepensis</i>                     | İzmir/Urla        | Healthy looking shoot from symptomatic tree | Natural <i>P. halepensis</i> forest stand |
| E14CT | <i>P. thunbergii</i>                     | İstanbul/Sarıyer  | Dead needle from symptomatic tree           | Arboretum                                 |
| E15CF | <i>P. pinea</i>                          | Adana             | Healthy looking cone from healthy tree      | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E16CK | <i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> | Çankırı/Eldivan   | Healthy looking shoot from healthy tree     | Natural <i>P. nigra</i> forest stand      |
| E17CK | <i>P. nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> | Isparta/Keçiborlu | Healthy looking seed from healthy tree      | Natural <i>P. nigra</i> forest stand      |
| E18CF | <i>P. pinea</i>                          | İzmir/Bergama     | Healthy looking shoot from healthy tree     | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E19CZ | <i>P. brutia</i>                         | Antalya           | Dead cone from healthy tree                 | Natural <i>P. brutia</i> forest stand     |
| E20CF | <i>P. pinea</i>                          | Bursa             | Healthy looking cone from healthy tree      | Natural <i>P. pinea</i> forest stand      |
| E21CZ | <i>P. brutia</i>                         | Isparta/Eğirdir   | Symptomatic stem from symptomatic seedling  | Forest nursery                            |

### 2.2.2. Molecular identification of fungi

To confirm the morphological identification, the analysis of the internal transcribed spacer sequence of ribosomal DNA (ITS rDNA) region was conducted for five representative isolates, each exhibiting distinct morphotypes. Genomic DNA was extracted from fresh mycelium using the DNeasy® Plant Mini Kit (Qiagen, Hilden, Germany) following the manufacturer's instructions. The isolated DNAs were measured using a microplate reader (Epoch, Biotek.) to determine their quality and concentration. DNAs of sufficient concentration and quality were stored under appropriate conditions for use in PCR amplifications.

The ITS rDNA region was amplified using the universal primer pair ITS1 and ITS4 (White et al., 1990). PCR reactions were performed with Xpert Fast Hotstart Mastermix (Grisp, Portugal), following the company's protocol instructions. Amplification was carried out in a 25 µL reaction mix containing 1 µL of each mentioned primer at 10 pmol/µL, 12.5 µL of Xpert Fast Hotstart Mastermix (2X), 7.5 µL PCR-grade water, and 3 µL template DNA. Amplification reactions were conducted in a PCR thermocycler (Kyratec, SuperCycler Thermal Cycler, Australia) with the following conditions: an initial cycle of 3 min at 95 °C (enzyme activation, denaturation of template DNA), followed by 40 cycles of 95 °C for 15 s, 58 °C for 15 s, and 72 °C for 15 s, with a final elongation at 72 °C for 3 min. PCR products were sequenced at BMLabosis (ANKARA). The DNA sequences were initially edited and subsequently compared with other sequences in the NCBI (National Center for Biotechnology Information) GenBank using the nucleotide BLAST algorithm. BioEdit version 7.2.6 software was employed to align the most similar sequences, as well as selected outgroup sequences obtained from the NCBI database.

### 2.3. In vitro determination of antagonistic interactions

In this study, 21 different endophytic fungal (antagonist) isolates were used against 4 different pathogen (*D. sapinea*) isolates in fungal inhibition tests. The dual culture method "Fungal Disc Technique", which is based on the principle of simultaneous cultivation of pathogen and potential antagonists on PDA medium, was used to determine the interactions between the isolates. Inhibition between the tested isolates was determined by simultaneously placing two fungal discs in a Petri dish (Parkinson, 1994).

The pathogen and antagonist isolates to be tested were grown in Petri dishes containing 2% PDA in an incubator set at 25±1°C in the dark. After 7 days of incubation, 5 mm diameter discs were taken from the growing colonies of antagonist and pathogen isolates using a cork borer. Two discs; one from an antagonist and the other from a pathogen was placed onto a Petri dish containing PDA with 5 cm space between them. The dual cultures for each antagonist-pathogen combination (84 pairing in total) were replicated 5 times.

In order to evaluate the growth of pathogenic fungi in antagonist-free medium, 5 mm diameter discs were taken from each fungus and placed onto Petri dishes containing PDA in 5 replicates. The process was positioned in the same way on the Petri dish as in the pairings. All the above-mentioned procedures were carried out in a microbiological safety cabinet. Cork borers used to remove fungal discs were sterilised by dipping in alcohol and passing through a flame before each use. The inoculated Petri dishes were covered with parafilm and placed in the incubator. All Petri dishes were then incubated under the same conditions in the dark in an incubator set at 25±1°C.

### 2.3.1. Data analyses of antagonistic interactions

The inhibition of the growth of the pathogen fungus (percentage of fungal inhibition) was calculated by the following formula (1) (Grondana et al., 1997). Measurements were made using a ruler and values were recorded in mm.

$$RI = 100 \times \frac{(R_2 - R_1)}{R_2} \quad (1)$$

RI represents the growth of the pathogen fungus inoculum and the colony formed by it measured in the direction of the antagonist inoculum;  $R_2$  represents the growth of the pathogen fungus measured in the direction of maximum radius development. In the study, the  $R_2$  value given in the formula for fungal inhibition values was determined by measuring the radius of the indicator fungus growing in the antagonist-free medium, not by measuring the growth of the pathogen fungus in the direction of maximum radius development. Each test was repeated 5 times and the percentage inhibition ( $R_i$ ) value was calculated by taking the average of five repetitions.

The evaluation of the findings obtained in the study was carried out in MiniTab 16 statistical programme. Firstly, simple variance analysis (Anova Test) was performed. In case of statistical differences as a result of Anova test, Duncan test was used to determine the different groups.

## 3. Results

Experiments were carried out to determine the antagonistic activities of 21 endophytic fungi isolated from five different pine species (*P. brutia*, *P. halepensis*, *P. nigra*, *P. pinea* and *P. sylvestris*), against *D. sapinea* isolates from *P. halepensis* and *P. brutia* under *in vitro* conditions.

The identification of the fungal isolates obtained was carried out by classical methods using morphological characteristics and molecular methods using DNA sequence information. Morphological identification procedures were carried out based on macroscopic and microscopic features of the fungi. The macroscopic characteristics of the spores of the fungi were determined by using culture colour and shape and the microscopic characteristics were determined by examining the colour, shape, characteristics of the walls and spore size. For morphological identification of *D. sapinea* isolates, fragments taken from the colony grown on 2% PDA medium at 20 °C were transferred to 2% water agar medium and sterilised *P. brutia* needles were placed in the same Petri dish for pycnidia formation (Figure 1) and incubated.

Out of 21 endophyte isolates, E10CZ could not be morphologically and molecularly assigned at the genus level (*Ascomycota* sp.). The morphological and molecular characterization results of antagonist fungi and pathogenic fungi are given in Table 3.

Fungal inhibition tests were performed by assessing and measuring the simultaneous growth of pathogens on the medium and evaluating the growth behaviour by measurements and zone formation. The final observations

made on the paired fungal species were categorised as follows: (1) inhibition of *D. sapinea* growth (Figure 2A), (2) endophytic dominance (Figure 2B), (3) equal growth ability, no inhibition (Figure 2C) and (4) *D. sapinea* dominance (Figure 2D).

In fungal inhibition tests, 21 different endophytic fungal isolates were used against 4 different pathogenic fungal isolates (DS88, DS85, DS99, DS110). The ability of an endophyte to antagonise the pathogen was determined based on the level of inhibition (defined as pathogen growth with and without endophyte) over a given period of time. The maximum growth of *D. sapinea* isolates, the rate of inhibition by antagonist isolates (%) and the day of maximum growth are given in Table 4.

When Table 4 is analysed; the highest inhibition rate is 72% between E5 and DS85. This rate was followed by the inhibition rate between E5 and DS80, and E5 and DS99. When the control groups were analysed, DS80, DS85, DS99 and DS110 isolates reached maximum growth on days 11, 11, 9 and 9, respectively. Compared to the control groups, DS80 was inhibited by E2, E10 and E11 endophytes, DS85 by E2 and E21 endophytes, DS99 by E1, E2, E20 and E21 endophytes, DS110 by E1, E2, E19, E20 and E21 endophytes. Against endophytes, DS80, DS85, DS99 and DS110 isolates reached maximum growth on average in 9, 8, 8 and 8 days, respectively. From this point of view, DS85 was the most inhibited fungus in terms of total inhibition. This isolate was followed by DS80, DS110 and DS99, respectively. E3 and E5 coded antagonist isolates were observed to inhibit the growth of the pathogen on day 4. Antagonists coded E4, E6, E7, E12 and E16, which had different inhibition rates, inhibited the growth of pathogenic fungi on the 7th, 9th, 9th, 8th and 8th days, respectively. The control of the arithmetic means of the maximum growth amount, inhibition rate percentage and maximum growth day values of the antagonist isolates applied against *Diplodia* isolates was performed by simple analysis of variance (Anova test). Duncan test was applied as a result of the difference in arithmetic means as a result of Anova test (Table 5).



Figure 1. Morphological identification of pathogen isolates based on macroscopic and microscopic characteristics A) 20-day-old colony of *Diplodia sapinea* (DS110) incubated in 2% PDA at 20 °C in the dark B) Incubation of *Pinus brutia* needles in a 2% water agar inoculated with *Diplodia sapinea* for the induction of pycnidia formation

Table 3. Morphological and molecular characterisation results of pathogenic and endophytic fungi

| Code  | Morp. Ident.                   | Molec. Ident.                   | Most close GenBank matches |                  |
|-------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|
|       |                                |                                 | Query cover                | Accession number |
| DS80  | <i>Diplodia sapinea</i>        | <i>Diplodia sapinea</i>         | 99%                        | MH183336.1       |
| DS85  | <i>Diplodia sapinea</i>        | <i>Diplodia sapinea</i>         | 99%                        | MH183342.1       |
| DS99  | <i>Diplodia sapinea</i>        | <i>Diplodia sapinea</i>         | 100%                       | MN698985.1       |
| DS110 | <i>Diplodia sapinea</i>        | <i>Diplodia sapinea</i>         | 100%                       | MT587369.1       |
| E1CF  | <i>Fusarium</i> sp1            | -                               | -                          | -                |
| E2CS  | <i>Fusarium</i> sp2            | <i>Fusarium</i> sp2             | 98%                        | KX618492.1       |
| E3CS  | <i>Trichoderma</i> sp1         | -                               | -                          | -                |
| E4CS  | <i>Trichoderma</i> sp2         | <i>Trichoderma</i> sp2          | 98%                        | KC576692.1       |
| E5CF  | <i>Trichoderma</i> sp3         | <i>Trichoderma</i> sp3          | -                          | -                |
| E6CZ  | <i>Trichoderma</i> sp4         | <i>Trichoderma</i> sp4          | -                          | -                |
| E7CF  | <i>Aspergillus</i> sp.         | <i>Aspergillus ochraceus</i>    | 100%                       | MH856959.1       |
| E8CZ  | <i>Oxyporus corticola</i>      | <i>Oxyporus corticola</i>       | 100%                       | KC176669.1       |
| E9CZ  | <i>Epicoccum</i> sp.           | -                               | -                          | -                |
| E10CZ | Unknown isolate                | -                               | -                          | -                |
| E11CK | <i>Alternaria</i> sp1          | <i>Alternaria</i> sp1           | 100%                       | MT448892.1       |
| E12CK | <i>Fusarium</i> sp3            | <i>Fusarium</i> sp3             | 100%                       | MG274297.1       |
| E13CH | <i>Pseudocamasprium</i> sp.    | <i>Pseudocamasprium brabeji</i> | 100%                       | MN833937.1       |
| E14CT | <i>Coniothyrium</i> sp.        | <i>Coniothyrium juniperi</i>    | 100%                       | MH860594.1       |
| E15CF | <i>Akanthomyces</i> sp.        | <i>Akanthomyces</i> sp.         | 99%                        | NR_111096        |
| E16CK | <i>Sydowia polyspora</i>       | <i>Sydowia polyspora</i>        | 99%                        | MT556703.1       |
| E17CK | <i>Alternaria alternata</i>    | -                               | -                          | -                |
| E18CF | <i>Alternaria</i> sp2          | -                               | -                          | -                |
| E19CZ | <i>Akanthomyces attenuatus</i> | <i>Akanthomyces attenuatus</i>  | 100%                       | MT889904.1       |
| E20CZ | <i>Triothecium</i> sp.         | -                               | -                          | -                |
| E21CF | <i>Fusarium</i> sp4            | <i>Fusarium avenaceum</i>       | 99%                        | MT357238.1       |

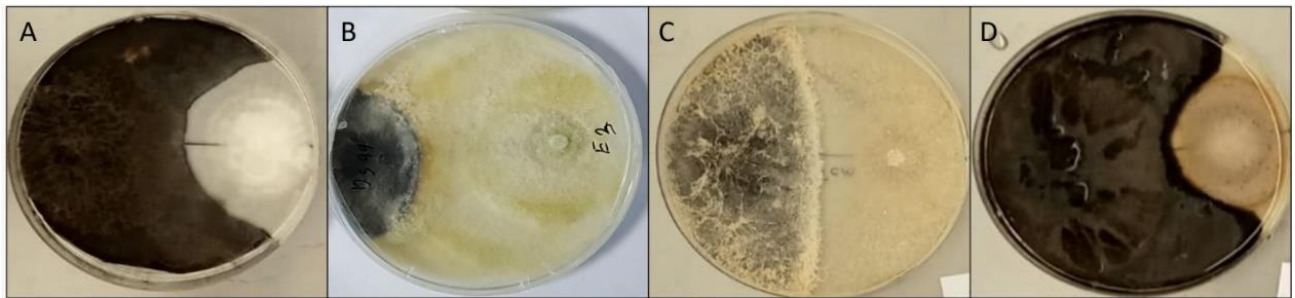


Figure 2. Examples of endophyte fungi showing different reactions with *Diplodia sapinea* (brown-grey morphology) isolate in dual cultures during antagonism trials. (A) E15 and *D. sapinea*; (B) E3 and *D. sapinea*; (C) E20 and *D. sapinea*; (D) E8 and *D. sapinea*.

Table 4. Maximum growth of *D. sapinea* isolates, inhibition rates caused by the endophytic isolates on the pathogen (%) and maximum growth days

| Antagonist | Maximum growt amount (r=cm) |      |      |       | Inhibition rate values (%) |       |       |       | Maximum growth days |      |      |       |
|------------|-----------------------------|------|------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|---------------------|------|------|-------|
|            | DS80                        | DS85 | DS99 | DS110 | DS80                       | DS85  | DS99  | DS110 | DS80                | DS85 | DS99 | DS110 |
| E1CF       | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 10                  | 9    | 11   | 11    |
| E2CS       | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.1   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 4.65  | 11                  | 11   | 11   | 10    |
| E3CS       | 2.1                         | 2.6  | 2.5  | 2.4   | 51.16                      | 39.53 | 41.86 | 44.19 | 3                   | 3    | 5    | 4     |
| E4CS       | 2.4                         | 4.1  | 3.2  | 4.1   | 44.19                      | 4.65  | 25.58 | 4.65  | 7                   | 7    | 5    | 6     |
| E5CF       | 1.3                         | 1.2  | 1.5  | 2     | 69.77                      | 72.09 | 65.12 | 53.49 | 4                   | 3    | 3    | 3     |
| E6CZ       | 1.7                         | 1.7  | 1.9  | 1.9   | 60.47                      | 60.47 | 55.81 | 55.81 | 9                   | 8    | 9    | 7     |
| E7CF       | 2.1                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 51.16                      | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 9                   | 9    | 7    | 9     |
| E8CZ       | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 7                   | 7    | 6    | 7     |
| E9CZ       | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 9                   | 5    | 5    | 6     |
| E10CZ      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 11                  | 8    | 8    | 7     |
| E11CK      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 11                  | 10   | 9    | 7     |
| E12CK      | 3.7                         | 3.6  | 3.8  | 3.5   | 13.95                      | 16.28 | 11.63 | 18.60 | 8                   | 10   | 9    | 4     |
| E13CH      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 9                   | 7    | 5    | 6     |
| E14CT      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 7                   | 6    | 5    | 6     |
| E15CF      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 9                   | 6    | 5    | 6     |
| E16CK      | 3.9                         | 2.1  | 2.2  | 2.1   | 9.30                       | 51.16 | 48.84 | 51.16 | 9                   | 6    | 5    | 7     |
| E17CK      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 8                   | 7    | 5    | 8     |
| E18CF      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 6                   | 7    | 5    | 5     |
| E19CZ      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 7                   | 6    | 8    | 10    |
| E20CZ      | 4.2                         | 4    | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 6.98  | 2.33  | 2.33  | 10                  | 8    | 11   | 11    |
| E21CF      | 4.2                         | 4.2  | 4.2  | 4.2   | 2.33                       | 2.33  | 2.33  | 2.33  | 9                   | 11   | 11   | 11    |
| control    | 4.3                         | 4.3  | 4.3  | 4.3   | -                          | -     | -     | -     | 11                  | 11   | 9    | 9     |

Table 5. Duncan test results of maximum growth amount of *D. sapinea* isolates, inhibition rate values (%) of the pathogen by antagonist isolates and maximum growth day

| Antagonist | Maximum growth amount (r=cm)           | Antagonist | Inhibition rate values (%) | Antagonist | Maximum growth day |
|------------|--|------------|----------------------------|------------|--------------------|
| 5          | 1.5 (0.01) <sup>1</sup> a <sup>2</sup> | 1          | 2.33 (0.02) a              | 5          | 4 (0.03) a         |
| 6          | 1.8 (0.02) a                           | 8          | 2.33 (0.02) a              | 3          | 4 (0.04) a         |
| 3          | 2.4 (0.03) b                           | 9          | 2.33 (0.02) a              | 18         | 6 (0.06) b         |
| 16         | 2.6 (0.02) b                           | 10         | 2.33 (0.02) a              | 14         | 6 (0.07) b         |
| 4          | 3.3 (0.03) c                           | 11         | 2.33 (0.03) a              | 4          | 7 (0.06) bc        |
| 12         | 3.6 (0.03) cd                          | 13         | 2.33 (0.03) a              | 9          | 7 (0.08) bc        |
| 7          | 3.7 (0.04) cd                          | 14         | 2.33 (0.03) a              | 15         | 7 (0.08) bcd       |
| 20         | 4.2 (0.04) de                          | 15         | 2.33 (0.45) a              | 8          | 7 (0.08) bcd       |
| 2          | 4.2 (0.04) de                          | 17         | 2.33 (0.02) a              | 13         | 7 (0.07) bcd       |
| 1          | 4.2 (0.04) de                          | 18         | 2.33 (0.03) a              | 16         | 8 (0.08) bcde      |
| 8          | 4.2 (0.04) de                          | 19         | 2.33 (0.02) a              | 17         | 8 (0.09) bcde      |
| 9          | 4.2 (0.03) de                          | 20         | 3.49 (0.02) a              | 12         | 8 (0.09) bcde      |
| 10         | 4.2 (0.04) de                          | 21         | 2.33 (0.02) a              | 19         | 8 (0.09) bcde      |
| 11         | 4.2 (0.04) de                          | 2          | 2.91 (0.02) a              | 6          | 9 (0.08) cdef      |
| 13         | 4.2 (0.04) de                          | 7          | 14.53 (0.16) ab            | 7          | 9 (0.10) defg      |
| 14         | 4.2 (0.04) de                          | 12         | 15.12 (0.15) ab            | 10         | 9 (0.10) defg      |
| 15         | 4.2 (0.03) de                          | 4          | 19.77 (0.21) b             | 11         | 10 (0.11) efgh     |
| 17         | 4.2 (0.03) de                          | 16         | 40.12 (0.02) c             | 20         | 10 (0.11) fgh      |
| 18         | 4.2 (0.04) de                          | 3          | 44.19 (0.48) c             | 1          | 11 (0.12) fgh      |
| 19         | 4.2 (0.04) de                          | 6          | 58.14 (0.60) d             | 21         | 11 (0.12) gh       |
| 21         | 4.2 (0.04) de                          | 5          | 65.12 (0.64) d             | 2          | 11 (0.11) h        |
| control    | 4.3 (0.04)                             | control    | -                          | control    | 10 (0.11)          |

1: Standard deviation, 2: Homogeneous groups formed according to Duncan's test are indicated by letters in each column. F=23.046, F=23.197 and F=9.561 and p<0.001 for maximum growth amount, inhibition rate percentages and maximum growth days, respectively.

When Table 5 is analysed, the inhibition rates of E1, E8, E9, E10, E11, E13, E14, E15, E17, E18, E19, E20 and E21 coded endophytes were 2.3%. Visual analyses showed that endophytes coded E2, E9, E10, E13, E14, E15, E17, E19 formed an inhibition zone with *Diplodia* isolates. Isolates coded E1, E8, E21 did not form any inhibition zone and *Diplodia* isolates showed superior growth. Isolates E11, E18 and E20 showed equal growth characteristics with *Diplodia* isolates. Among the isolates tested, the fungus with the highest antagonistic effect on average was isolate E5 (65.12%), followed by isolate E6 (58.14%). These isolates were followed by E3 (44.19%), E16 (40.16%), E4 (19.77%), E12 (15.12%) and E7 (14.53%). According to the visual inspection results, 4 different types of interactions were observed between the tested endophytes and *D. sapinea* isolates. In the study, 71% of the tested strains were able to inhibit *D. sapinea in vitro* or provide superiority over *D. sapinea* in their growth. As a result of the tests, a total of 15 strains can be considered as potential antagonists against *D. sapinea in vitro* because they showed faster growth than *D. sapinea* or inhibited the growth of the pathogen.

In the study, 33% of the endophytes (E3, E4, E5, E6, E7, E12, E16) showed faster growth than *D. sapinea*. 14% (E11, E18, E20) of the endophytes tested in the study showed equal growth with *D. sapinea* isolates without inhibition. *D. sapinea* isolates tested in our study were unable to cross the endophyte barrier in 38% of the antagonist isolates tested and non-contact inhibition was observed. These isolates (E2, E9, E10, E13, E14, E15, E17, E19) react to the presence of the competitor fungus, forming an inhibition zone. In this study, 14% of the endophytes tested (E1, E8, E21) caused superior growth of mycelium of *D. sapinea* isolates without showing inhibition and were observed as deficient.

#### 4. Discussion and Conclusion

The ability of many fungi to antagonise various microorganisms, especially bacteria and other fungi, has been known and studied by researchers for many years (Baker,

1987; Harman, 2006; Thambugala et al., 2020). Furthermore, numerous fungi have been assessed for their potential as biological control agents against plant diseases, with many already being successfully utilized in agriculture and forestry as commercial-scale biological control agents (Thambugala et al., 2020; Guzmán-Guzmán et al., 2023). To effectively implement biological control strategies against plant diseases, it is required to evaluate the interaction between a pathogen and its antagonist in a controlled laboratory setting using *in vitro* assays as the initial step (Bosmans et al., 2016; Köhl et al., 2019). These assays not only describe antagonistic interactions, but also offer valuable insights for selecting and refining biocontrol agents, which ultimately establishes the foundation for successful biological control strategies in the field.

The dynamics of forest pathosystems may become unpredictable in the future due to environmental changes that favor fungal pathogens over the viability of hosts. Similarly, these changes may have unknown impacts on the essential fungal endophytes of host trees. It is anticipated that abiotic stress, specifically drought, may enhance the aggressiveness of *D. sapinea* in the future (Blumenstein et al., 2021). This study observed various forms of competition among different endophytes against *D. sapinea*. In general, these findings suggest that other endophytes in pine tissues, particularly on branches, might contribute to the development of "Diplodia shoot blight" disease. Hypothetically, promoting a specific tree microbiome in tree health could lead to an effective, long-lasting, and environmentally friendly control method against severe disease outbreaks.

In this study, pine endophytes and *D. sapinea* isolates interacted with each other in various ways, as demonstrated by *in vitro* antagonism assays. Overall, four interaction categories were identified in all tests. Similar results were presented by Bußkamp (2018) and Blumenstein (2021). In our study, 71% of the strains tested were able to inhibit *D. sapinea in vitro* or outcompete *D. sapinea* in growth. Generally, 15 strains can be considered as potential antagonists against *D. sapinea in vitro*, because they either



showed a faster growth than *D. sapinea* or inhibited the growth of the pathogen. This partly agrees with the results of Bußkamp (2018), who found that 22% of the 89 endophytic strains tested inhibited the growth of *D. sapinea*.

The *D. sapinea* isolates tested in our study failed to cross the endophyte barrier in 38% of the antagonist isolates tested and non-contact inhibition was observed. These isolates (E2, E9, E10, E13, E14, E15, E17, E19) react to the presence of the competitor fungus, forming an inhibition zone. Chemical antagonism can be assumed when a fungus reacts to the presence of a competitor fungus with an inhibition zone between two fungal colonies. A fungus can secrete secondary metabolites that inhibit the competitor fungus (Schulz et al., 2002). To determine whether a particular metabolite can inhibit growth, secondary metabolites must be extracted and tested to see if the same reaction can be observed against the pathogen (Tellenbach et al., 2013). Blumenstein et al. (2021) observed a non-contact zone of inhibition between *A. alternata* isolates and *D. sapinea* isolates. The *A. alternata* isolate coded E17 and the *Alternaria* isolate coded E18, which we used in our study, formed a non-contact zone of inhibition with the pathogen.

In the analyses carried out, E1, E2, E8, E9, E10, E11, E13, E14, E15, E17, E18, E19, E20 and E21 coded endophytes were found to inhibit the the pathogen at an average rate of 2.3%. This does not mean that all of these endophytes failed to inhibit the fungus. Visual analyses showed that endophytes E2, E9, E10, E13, E14, E15, E17, E19 formed a non-contact zone of inhibition with *Diplodia* isolates. These isolates form an inhibition zone by reacting to the presence of the competitor fungus. Fungal inhibition tests are carried out by evaluating and measuring the simultaneous growth of pathogens on the medium and evaluating the growth behaviour according to measurements and zone formation.

In this study, 14% of the endophytes tested (E1, E8, E21) caused superior growth of mycelium of *D. sapinea* isolates without showing inhibition. Among the isolates used in the antagonism tests, the antagonist isolates with neutral interactions and lower growth than *D. sapinea* do not appear to be suitable potential antagonists. These isolates did not form any inhibition zone and at the same time showed lower growth than the pathogen. This growth ability of *Diplodia* isolates may indicate a stronger capacity to metabolise nutrients than other endophytes (Bußkamp, 2018). Faster growth and better utilisation of nutrients are two strategies with clear advantages during competition (Mgbeahuruike et al., 2011). Some typical endophytes from host tree species can in theory provide strong competition against pathogens in nature if they can show sufficient distribution in host tissues (Terhonen et al., 2019; Bußkamp et al., 2020). When a pine species is weakened by drought stress, the common endophytes within the tree may be at a disadvantage. This creates an opportunity for *D. sapinea*, a secondary pathogen, to establish itself more readily, invade more host tissue, and outcompete other endophytes. This shift in the microbial community could explain why *D. sapinea* is more prevalent in areas experiencing tree disease (Bußkamp et al., 2020; Blumenstein et al., 2021). This observation suggests that environmental stressors like drought may create conditions that favor certain pathogens over the typical endophytes, leading to increased disease occurrence and spread.

In the study, 14% of the endophytes tested (E11, E18, E20) showed equal growth with *D. sapinea* isolates without

showing inhibition. In this case, it can be said that the isolates were not affected by each other and antagonism did not occur. It may mean that these fungi can grow together in the host and neither of them reacts specifically to the presence of the other.

In addition, 33% of the endophytes, E5, E6, E3, E16, E16, E4, E12, E7 coded isolates showed superiority against the pathogen and these isolates have the potential to be used as biological control agents. Isolates coded E3, E4, E5 and E6 were identified as fungi belonging to the genus *Trichoderma* as a result of morphological and molecular identification. *Trichoderma* isolates, sourced from various hosts in the study, demonstrated diverse mechanisms in inhibiting the growth of indicator fungi. Fungi belonging to the genus *Trichoderma* have been used for biological control against plant pathogens since 1920s. These species accelerate plant growth, increase plant defence mechanisms and make plants more resistant to pathogens. In addition, the various broad spectrum of antibiotic compounds they produce provide an effective control against pathogens (Dennis and Webster, 1971; Küçük and Kıvanç, 2003; Oskay and Şimşek 2017; Guzmán-Guzmán et al., 2023).

Another isolate determined in the study to have the potential to be used as a biological control agent is the isolate coded E12. As a result of morphological and molecular diagnosis, this isolate was determined to be *Fusarium* sp3. It is known that non-virulent fungi belonging to the *Fusarium* genus are commercially produced due to their adaptation to the ecosystem in which they are found and their positive effects on plant development. E7-coded *Aspergillus* sp. is among the successful isolates. The *Aspergillus* genus is a large group of fungi known for its biological diversity and metabolic flexibility. Many species in this genus are used in various industrial and biotechnological applications, often capable of producing valuable chemical compounds (Wilson et al., 2002; Keller and Turner, 2012).

Another fungus with high biological control potential is *S. polyspora* isolate coded E16. *S. polyspora* is a typical endophyte of pines that is widespread throughout the world (Muñoz-Adalia et al., 2017; Pan et al., 2018). As an endophyte, it has a high consistency and frequency in pine branches (Sanz-Ros et al., 2015; Blumenstein et al. 2020; Bußkamp et al. 2020). In a study conducted by Bußkamp (2018), *S. polyspora* isolates did not exhibit antagonistic behavior in double culture with *D. sapinea*. The recent reports by Oliva et al. (2021) and Blumenstein et al. (2021) highlighted the biological control potential of *S. polyspora*, indicating its antagonistic effects against *D. sapinea*. Oliva et al. (2021) identified a cluster of potential antagonistic species by analyzing the relationships between the *D. sapinea* pathogen and endophytes present in the shoots of adult pine trees. In their study, *S. polyspora* was identified as one of the species with antagonistic ability against *D. sapinea*, along with an *Alternaria* species accompanied by *E. nigrum*. The dynamic nature of these interactions underscores the importance of further research in understanding the variability of antagonistic behavior among endophytic species and their potential role in disease control strategies.

The general purpose of this study is not to directly inhibit the growth of *D. sapinea*, but to determine how much *D. sapinea* growth is inhibited in the presence of endophytes. In future studies, effective fungal endophytes should be tested *in vivo* on plants. Some show that fungal endophytes can

enhance the host plant's immune system *in vivo*. (Ganley, 2008; Mejia et al., 2008; Witzell and Martín, 2018).

In this study, fungal antagonists that can be used as biological control agents, especially *Trichoderma* sp., which were found to be very effective in *in vitro* tests. The potential of the isolates to be used against the *D. sapinea*, an important pathogen in forest trees, has emerged. Endophyte fungi have a very important place among potential biological control agents. One of the important issues in the selection of biological agents is that potential antagonists are not only successful *in vitro* against the tested organisms, but also that they remain stable in natural environments and have the ability to reach a population level that can suppress disease agents in field conditions. In addition, it is a very important factor that potential antagonists can be effective without causing any harm to nature or disturbing the natural balance. Although *in vitro* tests are useful in determining the enzymatic and antibiotic activities of biological control agents, they cannot determine how and how effective these mechanisms are while maintaining the interactions of organisms in their natural environment (Whipp, 1987). In this study, isolates were planted opposite each other in petri dishes at the same time. Inoculating *D. sapinea* later than endophytes may lead to different results in the study.

This study demonstrated that certain tested endophytes, such as *Trichoderma* sp., *Alternaria* sp., *Sydowia polyspora*, sharing a similar habitat with *D. sapinea*, effectively inhibited the *in vitro* growth of *D. sapinea* isolates. The findings of this study suggested that competition between *D. sapinea* and other endophytes might impede the growth of *D. sapinea* and the manifestation of Diplodia shoot blight symptoms. Pine endophytes exhibiting antagonistic properties against the *D. sapinea* pathogen without harming the host tree could serve as biological control agents, aiding in the protection of the host tree. Future research can be designed to explore innovative and efficient approaches for harnessing the beneficial tree microbiome amidst upcoming challenges. Notably, *D. sapinea* is known to intensify disease severity under drought stress, indicating that Diplodia shoot blight may lead to more widespread outbreaks in the future due to climate change-induced severe and prolonged drought conditions. Consequently, preventive measures against the disease agent should be implemented promptly, and in-depth studies on combat strategies should be continued.

#### Acknowledgment

The authors are thankful to Pamukkale University BAP department (Project no: 2021FEBE020) for their financial support.

#### References

- Baker, K.F., 1987. Evolving concepts of biological control of plant pathogens. Annual review of phytopathology, 25: 67–85.
- Bamisile, B.S., Dash, C.K., Akutse, K.S., Keppanan, R., Wang, L., 2018. Fungal endophytes: beyond herbivore management. Frontiers in Microbiology, 9: 544.
- Beram, R.C., Beram, A., Lehtijärvi, H.T.D., 2016. Fungal endofitler ve etkileşimleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(2):161-166.
- Bernicchia A., 2005. *Polyporaceae* s.l. Fungi Europaei 10: 808 p. Ed. Candusso, A.
- Blumenstein, K., Bubkamp, J., Langer, G.J., Schlöber, R., Rojas, N.M.P., Terhonen, E., 2021. *Sphaeropsis sapinea* and associated endophytes in scots pine: interactions and effect on the host under variable water content. Frontiers in Forests and Global Change, 4: 655769.

- Blumenstein, K., Langer, G., Bubkamp, J., Langer, E., Terhonen, E., 2020. The opportunistic pathogen *Sphaeropsis sapinea* is found to be one of the most abundant fungi in symptomless and diseased Scots pine in Central-Europe. Research Square, 3:48366.
- Bosmans, L., Bruijn, I., Mot, R., Rediers, H., Lievens, B., 2016. Agar composition affects *in vitro* screening of biocontrol activity of antagonistic microorganisms. Journal of Microbiological Methods, 7-9:127.
- Brodde, L., Adamson, K., Camarero, J.J., Castaño, C., Drenkhan, R., Lehtijärvi, A., Luchi, N., Miglliorini, D., Miranda, A.S., Stenlid, J., Özdağ, Ş., Oliva, J., 2019. Diplodia tip blight on its way to the north: drivers of disease emergence in northern Europe. Frontiers in Plant Science, 9:1818.
- Brookhouser, L.W., Peterson, G.W., 1971. Infection of Austrian, Scots, and ponderosa pines by *Diplodia pinea*. Phytopathology, 61(4): 409-414.
- Bußkamp, J., 2018. Schadenserhebung, Kartierung und Charakterisierung des Diplodia-Triebsterbens "der Kiefer, insbesondere des endophytischen Vorkommens in den klimasensiblen Räumen und Identifikation von den in Kiefer (*Pinus sylvestris*) vorkommenden Endophyten. PhD Dissertation, Universität Kassel, Fachbereich 10 Mathematik und Naturwissenschaften Fachgebiet Ökologie, Germany.
- Bußkamp, J., Langer, G.J., Langer, E.J., 2020. *Sphaeropsis sapinea* and fungal endophyte diversity in twigs of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Germany. Mycological Progress, 19(9):985-999.
- Capretti, P., Santini, A., Solheim, H., 2013. Pathogens, Significance and Distribution. In Infectious forest diseases, Ed. Gonthier, P., Nicolotti, G., 21 Branch and Tip Blights, Italy pp. 420-435.
- Chou, I. M., 1987. Phase relations in the system NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O. III: Solubilities of halite in vapor-saturated liquids above 445° C and redetermination of phase equilibrium properties in the system NaCl-H<sub>2</sub>O to 1000° C and 1500 bars. Geochimica et Cosmochimica Acta, 51(7):1965-1975.
- Costa, D., Tavares, R.M., Baptista, P., Lino-Neto, T., 2020. Cork oak endophytic fungi as potential biocontrol agents against *Biscogniauxia mediterranea* and *Diplodia corticola*. Journal of Fungi, 6(4):287.
- Dennis, C., Webster, J., 1971. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*: I. Production of non-volatile antibiotics. Transactions of the British Mycological Society, 57(1):25-39.
- Diekmann, M., Sutherland, J.R., Nowell, D.C., Morales, F.J., Allard, G., 2002. *Pinus* spp. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Technical Guidelines for the Safe Movement of Germplasm, Rome.
- Ganley, R., 2008. Density and diversity of fungal endophytes isolated from needles of *Pinus radiata*. Client Report, N 2925.
- Grondona, I., Hermosa, R., Tejada, M., Gomis, M. D., Mateos, P. F., Bridge, P. D., Monte, E., Garcia-Acha, I., 1997. Physiological and Biochemical Characterization of *Trichoderma Harzianum*, A Biological Control Agent Against Soilborne Fungal Plant Pathogens. Applied And Environmental Microbiology, 63 (8):3189–3198.
- Guzmán-Guzmán, P., Kumar, A., Santos-Villalobos, S., Parra-Cota, F.I., Orozco-Mosqueda, M., Fadji, A.E., Hyder, S., Babalola, O.O., Santoyo, G., 2023. *Trichoderma* Species: Our best fungal allies in the biocontrol of plant diseases - A Review. Plants, 12(3): 432
- Harman G. E., 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. Phytopathology, 96 (2):190–194.
- Kaya, A.G.A., Lehtijärvi, A., Kaya, Ö., Doğmuş-Lehtijärvi, T., 2014. First report of *Diplodia pinea* on *Pseudotsuga menziesii* in Turkey. Plant disease, 98(5): 689-689.
- Kaya, A.G.A., Yeltekin, Ş., Lehtijärvi, T.D., L., Lehtijärvi, A., Woodward, S., 2019. Severity of Diplodia shoot blight (caused by *Diplodia sapinea*) was greatest on *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* in a plantation containing five pine species. Phytopathologia Mediterranea, 58(2):249-259.
- Keller, N. P., Turner, G., 2012. Fungal secondary metabolism: regulation and function. Current Opinion in Microbiology, 15(5):508-515.
- Kowalski, T., Bilański, P., 2021. Fungi detected in the previous year's leaf petioles of *Fraxinus excelsior* and their antagonistic potential against *Hymenoscyphus fraxineus*. Forests, 12(10):1412.
- Köhl, J., Kolnaar, R., Ravensberg, W., 2019. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. Frontiers in Plant Science, 10:845.

- Küçük, Ç., Kivanç, M., 2003. Isolation of *Trichoderma spp.* and determination of their antifungal, biochemical and physiological features. Turkish Journal of Biology, 27(4):247-253.
- Langer, G., Bresslem, U., Habermann, M., 2011. Diplodia-Triebsterben der Kiefer und endophytischer Nachweis des Erregers *Sphaeropsis sapinea*. AFZ-Der Wald, 11: 28-31.
- Mejía, L.C., Rojas, E.I., Maynard, Z., Van Bael, S., Arnold, A.E., Hebbar, P., Samuels, G., Robbins, N., Herre, E.A., 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. Biological control, 46(1):4-14.
- Mgebeahuruike, A.C., Sun, H., Fransson, P., Kasanen, R., Daniel, G., Karlsson, M., Asiegbu, F.O., 2011. Screening of *Phlebiopsis gigantea* isolates for traits associated with biocontrol of the conifer pathogen *Heterobasidion annosum*. Biological Control, 57(2):118-129.
- Munck, I.A., Smith, D.R., Sickley, T., Stanosz, G.R., 2009. Site-related influences on cone-borne inoculum and asymptomatic persistence of Diplodia shoot blight fungi on or in mature red pines. Forest Ecology and Management, 257(3):812-819.
- Muñoz-Adalia, E.J., Sanz-Ros, A.V., Flores-Pacheco, J.A., Hantula, J., Diez, J.J., Vainio, E.J., Fernández, M., 2017. *Sydowia polyspora* dominates fungal communities carried by two *Tomicus* species in pine plantations threatened by *Fusarium circinatum*. Forests, 8(4):127.
- Oliva, J., Ridley, M., Redondo, M.A., Caballol, M., 2021. Competitive exclusion amongst endophytes determines shoot blight severity on pine. Functional Ecology, 35(1):239-254.
- Oskay, F., Lehtijärvi, A., Lehtijärvi, H.T.D., Woodward, S., 2018. First report of *Diplodia sapinea* on *Cedrus libani* in Turkey. New Disease Reports, 38: 13.
- Oskay, F., Şimşek, Z., 2017. Çankırı (Eldivan) Karaçam Orman topraklarında saptanan bazı mikrofungusların in vitro koşullarda antagonistik etkileşimlerinin belirlenmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 3(2):130-138.
- Pan, Y., Ye, H., Lu, J., Chen, P., Zhou, X.D., Qiao, M., Yu, Z.F., 2018. Isolation and identification of *Sydowia polyspora* and its pathogenicity on *Pinus yunnanensis* in Southwestern China. Journal of Phytopathology, 166(6):386-395.
- Parkinson, D., 1994. Filamentous fungi. Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties, America.
- Parnell, I.W., 1957. Some notes from Australia. Scottish Agriculture, 37(2): 84-87.
- Prospero, S., Botella, L., Santini, A., Robin, C., 2021. Biological control of emerging forest diseases: How can we move from dreams to reality? Forest Ecology and Management, 496:119377.
- Raghavendra, A.K., Newcombe, G., 2013. The contribution of foliar endophytes to quantitative resistance to *Melampsora rust*. New Phytologist, 197(3):909-918.
- Rodriguez, R.J., White, J.F., Arnold, A.E., Redman, R.S., 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. New Phytologist, 182(2):314-330.
- Ryvarden, L., 1978. The Polyporaceae of North Europe. Inonotus-Tyromyces, 2: 219-507.
- Sanz-Ros, A.V., Müller, M.M., San Martín, R., Diez, J.J., 2015. Fungal endophytic communities on twigs of fast and slow growing Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Spain. Fungal Biology, 119(10):870-883.
- Schulz, B., Boyle, C., Draeger, S., Römmert, A. K., Krohn, K., 2002. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites. Mycological Research, 106(9):996-1004.
- Silva, N.I.S., Brooks, S., Lumyong, S., Hyde, K.D., 2019. Use of endophytes as biocontrol agents. Fungal Biology Reviews, 33:133-148.
- Soylu, S., Kurt, Ş., Soylu, E.M., 2001. Determination of important fungal disease agents on pine trees in the Kahramanmaraş regional forests. Journal of Turkish Phytopathology, 30: 79.
- Stanosz, G.R., Blodgett, J.T., Smith, D.R., Kruger, E.L., 2001. Water stress and *Sphaeropsis sapinea* as a latent pathogen of *P. brutia* seedlings. New Phytologist, 149(3): 531-538.
- Sümer, S., 2000. Shoot Blight Disease Caused by *Sphaeropsis sapinea* in Pine Stands at the South-Eastern Region, Turkey. (OGM research report)
- Swart, W.J., Wingfield, M.J., 1991. Biology and control of *Sphaeropsis sapinea* on *Pinus* species in South Africa. Plant Disease, 75(8):761-766.
- Tellenbach, C., Sumarah, M.W., Grünig, C.R., Miller, J.D., 2013. Inhibition of *Phytophthora* species by secondary metabolites produced by the dark septate endophyte *Phialocephala europaea*. Fungal Ecology, 6(1): 12-18.
- Terhonen, E., Blumenstein, K., Kovalchuk, A., Asiegbu, F. O., 2019. Forest tree microbiomes and associated fungal endophytes: Functional roles and impact on forest health. Forests, 10(1): 42.
- Terhonen, E., Kovalchuk, A., Zarsav, A., Asiegbu, F.O., 2018. Biocontrol Potential of Forest Tree Endophytes. In: Forestry Sciences (Ed: Pirttilä, A.M., Frank, C.), Endophytes of Forest Trees, Finland, pp. 283-318.
- Thambugala, K., Daranagama, D., Phillips, A., Kannagara, S., Promputtha, I., 2020. Fungi vs. fungi in biocontrol: an overview of fungal antagonists applied against fungal plant pathogens. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 10: 604923.
- Trejo-Estrada, S.R., Sepulveda, I.R., Crawford, D.L., 1998. In vitro and in vivo antagonism of *Streptomyces violaceusniger* YCED9 against fungal pathogens of turfgrass. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 14: 865-872.
- Ünlügil, H., Ertuş, A., 1993. İstanbul yakınlarındaki çam ağaçlarında *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dylco & Sutton mantar hastalığı. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 43(1): 131-138.
- Whipp, S. C., 1987. Protease degradation of *Escherichia coli* heat-stable, mouse-negative, pig-positive enterotoxin. Infection and immunity, 55(9), 2057-2060.
- White, T.J., Bruns, T., Lee, S.J.W.T., Taylor, J., 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications, 18(1): 315-322.
- Wilson, D. M., Mubatanhema, W., Jurjevic, Z., 2002. Biology and ecology of mycotoxigenic *Aspergillus* species as related to economic and health concerns. Mycotoxins and Food Safety, 504:3-17.
- Witzell, J., Martín, J.A., 2018. Endophytes and forest health. Endophytes of Forest Trees: Biology and Applications, 86: 261-282.
- Witzell, J., Martín, J.A., Blumenstein, K., 2014. Ecological aspects of endophyte-based biocontrol of forest diseases. Advances in Endophytic Research, 321-333.
- Yeltekin, Ş., 2015. Kerpe araştırma ormanı konifer türlerinde *Diplodia spp.*'den kaynaklanan kozalak ve sürgün enfeksiyonlarının belirlenmesi. Yüksek lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Zlatković, M., Keča, N., Wingfield, M.J., Jami, F., Slippers, B., 2017. New and unexpected host associations for *Diplodia sapinea* in the Western Balkans. Forest Pathology, 47(3): e12328.

# Unexpected expansion: Climate change-induced movement of the Cream-colored Courser (*Cursorius cursor*) into Central Anatolia

Özkan Evcin<sup>a,\*</sup> 

**Abstract:** Climate change is one of the major threats that negatively affects wildlife species and habitats. In recent years, global temperatures have increased, extreme climate events have become more frequent, and many bird species have experienced changes in their geographic ranges, behaviors, and life cycles in response to these environmental changes. The Cream-colored Courser (*Cursorius cursor*), a ground-nesting desert bird from the Glareolidae family, is a bird species that has begun to show changes in its distribution and phenology due to climate change. Normally living in arid environments in the Eastern Palearctic, this species has recently started to be observed in new areas far from its normal range, including Central Anatolia in Türkiye. In recent years, the unexpected appearance and nesting of this species in Tuz Lake, now located in central Türkiye, has raised concerns among conservationists and highlighted the species' vulnerability to climate change. This study aims to model the potential future distribution of the Cream-Coated Courser in Türkiye under two climate change scenarios (SSP 4.5 and SSP 8.5) over three time periods: 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080. Using MaxEnt modeling and climate change projections, the study will identify and interpret the key climatic factors driving these changes in distribution. Our findings will provide critical insights into the future range dynamics of the species and inform conservation strategies to reduce the impacts of climate change on this and other vulnerable bird species.

**Keywords:** Climate change, Cream-colored courser, Ecological modeling, Anatolia, Ornithology, Türkiye

## Beklenmeyen dağılım: İklim değişikliği sonucu Çöl Koşarı'nın (*Cursorius cursor*) Orta Anadolu'ya hareketi

**Özet:** İklim değişikliği, yaban hayatı türlerini ve habitatlarını olumsuz olarak etkileyen önemli tehditlerden biridir. Özellikle son yıllarda küresel sıcaklıkların artması ve aşırı iklim olayları daha sık yaşanmakta ve birçok kuş türü bu çevresel değişikliklere yanıt olarak coğrafi aralıklarında, davranışlarında ve yaşam döngülerinde değişimler yaşamaktadır. Glareolidae ailesinden, yerde yuvalayan bir çöl kuşu olan Çöl Koşarı (*Cursorius cursor*), iklim değişikliği nedeniyle dağılımında ve fenolojisinde değişiklikler göstermeye başlayan bir kuş türüdür. Normal olarak Doğu Paleartik'teki kurak ortamlarda yaşayan bu tür, son zamanlarda Türkiye'deki Orta Anadolu da dahil olmak üzere, normal aralığından çok uzakta olan yeni bölgelerde gözlemlenmeye başlamıştır. Özellikle bu türün son yıllarda artık Türkiye'nin orta kısmında bulunan Tuz Gölü'nde beklenmedik bir şekilde ortaya çıkması ve yuvalaması korumacılar arasında endişelere yol açmış ve türün iklim değişikliğine karşı savunmasızlığını vurgulamıştır. Bu çalışma, Türkiye'deki Çöl koşarı türünün potansiyel gelecekteki dağılımını iki farklı iklim değişikliği senaryosu (SSP 4.5 ve SSP 8.5) altında 2021-2040, 2041-2060 ve 2061-2080 yıllarını içeren üç zaman periyodu boyunca modellemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmada MaxEnt modellemesi ve iklim değişikliği projeksiyonları kullanılarak, dağılımdaki bu değişimleri yönlendiren temel iklim faktörleri belirlenerek yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular, türün gelecekteki coğrafi dağılımı hakkında kritik öngörüler sağlayarak iklim değişikliğinin Çöl koşarı ve diğer savunmasız kuş türleri üzerindeki etkilerinin azaltılması için koruma stratejilerine katkı sağlaması beklenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** İklim değişikliği, Çöl koşarı, Ekolojik modelleme, Anadolu, Ornitoloji, Türkiye

### 1. Introduction

Climate change has dramatic effect on all wildlife and their habitats and is considered a significant threat to biodiversity on a global scale. Birds are a class that is particularly vulnerable to the negative effects of climate change in this context. Weather patterns are changing, especially due to increasing temperatures and extreme climate events, but birds face difficulties adapting to these rapid environmental changes (Crick, 2004; Pautasso, 2012; Özdemir et al., 2020). One of the most visible indicators of

these changes is the distribution, behavior, and phenology of bird species (Evcin, 2023).

Climate change has led to significant shifts in the geographic ranges of bird species, with many moving towards the poles or higher altitudes in search of suitable habitats as global temperatures rise. These shifts are driven by the need to maintain optimal breeding, feeding, and survival conditions as their traditional environments become less hospitable (Thomas and Lennon, 1999; Huntley et al., 2008; Trautmann, 2018; Süel et al., 2022). In Europe, for example, bird species have been observed shifting their ranges northwards at an average rate of 1 km per year, with

✉ <sup>a</sup> Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kastamonu, Türkiye

@ \* **Corresponding author** (İletişim yazarı): oevcin@kastamonu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 14.08.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 04.09.2024



**Citation** (Atf): Evcin, Ö., 2024. Unexpected expansion: Climate change-induced movement of the cream-colored courser (*Cursorius cursor*) into Central Anatolia. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 258-266.

DOI: [10.18182/tjf.1533024](https://doi.org/10.18182/tjf.1533024)

some species moving even faster (Diehl, 2019). Alongside these range shifts, climate change also alters the timing of key life cycle events, such as migration and breeding, as rising temperatures affect the availability of crucial resources like food and nesting sites (Cotton, 2003). These changes can lead to mismatches between the timing of food availability and the peak demand of breeding birds, with potential cascading effects on breeding success and population dynamics (Davis et al., 2010).

The combination of range shifts, phenological changes, and habitat loss has contributed to population declines in many bird species. Some species may not be able to adapt quickly enough to the rapidly changing conditions, increasing the risk of local extinctions or even global threats (Žalakevičius, 2001; Jetz et al., 2007). Birds with specialized habitat requirements, limited dispersal abilities, or small population sizes are particularly vulnerable (Travis, 2003; Glushenkov, 2017). Changes in habitats under climate warming influence bird breeding success, breeding ranges, and the effectiveness of bird conservation efforts (Jaffré et al., 2013).

One species where climate change is beginning to alter its distribution and phenology is the Cream-colored Courser (*Cursorius cursor*). The Cream-colored Courser is a species of bird known for its unique cursorial behavior and may face challenges in its foraging and breeding activities due to climate change (Boano et al., 2022).

The Cream-colored Courser is a ground-nesting desert bird belonging to the family Glareolidae. This species is known to inhabit arid environments in the Western Palearctic region (Palomino et al., 2008). Studies have shown that Cream-colored Coursers prefer landscapes with low plant cover (Asensio and Lauenroth, 2012). They have been observed in various regions, including Cape Verde (Rice, 2023), Morocco (Teyar, 2023), North Africa (Traba et al., 2013), and southeast and central Anatolia (Karataş, 2023). The species has also been reported in southern Spain and northern Africa, with confirmed breeding in south Spain (López-Ramírez, 2024). Conservation efforts in places like Cabo Verde have produced positive results for native species like the Cream-colored Courser (Alho et al., 2021). The bird has been noted for its presence in biodiversity-rich areas alongside other endemic bird taxa (Rice, 2023) (Figure 1).

This study aims to determine the potential distribution of the Cream-colored Courser in Türkiye. These species have begun to appear in unexpected locations due to climate change. The fact that the species that is the subject of the study was first seen at Tuz Lake in May 2022, located in the middle of Türkiye, has caused a great resonance in the media and attracted the attention of conservationists (Figure 2).

In this context, the species has reproduced in the region closest to the European continent. The fact that Salt Lake has dried up, especially due to climate change, the spread of this species, which has adapted to the desert habitat in these areas, and the few studies conducted on the species show the importance of the study. The study aims to determine Cream-colored Courser's distribution semi-optimistic and pessimistic scenarios (SSP 4.5 and SSP 8.5) by using climate change projections for 2020-2040, 2040-2060, and 2060-2080. Additionally, the study will identify which climatic factors are driving these shifts in the species' range.



Figure 1. A Photo of Cream-colored Courser (*Cursorius cursor*) (Photo: Commons Wikimedia, 2024)

## 2. Material and methods

The study area encompasses the entire region of Türkiye. Presence data for the Cream-colored Courser's were obtained from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF), specifically from the Birdlife International dataset. The dataset consists of 197 occurrence records submitted to Birdlife until August 2024. To enhance data quality and avoid overfitting, duplicate records and those with coordinate uncertainties exceeding 2 km were removed using the "spThin" package in R (R Core Team, 2021).

For modeling the species' response to climate change, a set of 19 bioclimatic variables with a resolution of 30 arc seconds (~1km) was downloaded from the WorldClim database (v2.1) (Fick and Hijmans, 2017; Kıraç and Mert, 2019). Future climate variables for the periods 2021-2040, 2041-2060 and 2061-2080 were obtained under the Hadley Global Environment Model 2 - Earth System (HadGEM2-ES) based on the Shared Socio-economic Pathways (SSP) 4.5 and 8.5, representing semi-optimistic and pessimistic greenhouse gas emission scenarios.

These bioclimatic variables were clipped to Türkiye's scale using ArcMap and then converted into ASCII format for further analysis. To improve model accuracy, a Pearson correlation test was conducted on the 19 bioclimatic variables using R (R Core Team, 2021). Variables showing a correlation coefficient higher than 0.7 were excluded from the model (Table 1 and Table 2).

## SADECE ÇÖL KOŞULLARINDA YAŞAYAN ÇÖL KOŞARI KUŞUNUN TUZ GÖLÜ'NDE GÖRÜLMESİ KAYGILANDIRDI



23.05.2022 11:16



KEMAL ONUR ATALAY

Sadece çöl koşullarında yaşamını sürdürebilen 'Çöl Koşarı' kuşunun Aksaray'da görülmesi kuş gözlemcilerini heyecanlandırdı. Ancak bu kuşun görülmesi, Tuz Gölü'nün sulak alan özelliğinin kaybolduğuna işaret etmesi nedeniyle doğa açısından ise kaygı verici bulundu. Doğa fotoğrafçısı Fahri Tunç, "Biz doğa gözlemcileri ve fotoğrafçıları için çok sevindirici bir gelişme, inanılmaz bir doğa olayını ortaya çıkarmış olduk. Çöl Koşarı' bize diyor ki 'Artık siz bir çölde yaşıyorsunuz' diye konuştu.

Figure 2. A news article about Cream-colored Courser was observed in Tuz Lake, located in the Middle of Türkiye (Ankhaber, 2022)

Table 1. Bioclimatic variables used for the modeling

|  |
|--|
| BIO1 = Annual Mean Temperature   |
| BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temperature - min temperature) |
| BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ )                              |
| BIO4 = Temperature Seasonality (standard deviation $\times 100$ )              |
| BIO5 = Max Temperature of Warmest Month  |
| BIO6 = Min Temperature of Coldest Month  |
| BIO7 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)                                    |
| BIO8 = Mean Temperature of Wettest Quarter                                     |
| BIO9 = Mean Temperature of Driest Quarter                                      |
| BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter                                    |
| BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter                                    |
| BIO12 = Annual Precipitation   |
| BIO13 = Precipitation of Wettest Month   |
| BIO14 = Precipitation of Driest Month  |
| BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)                   |
| BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter                                       |
| BIO17 = Precipitation of Driest Quarter  |
| BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter                                       |
| BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter                                       |

As a result of the correlation analysis, the variables bio1, bio2, bio4, bio8, bio9, bio12, bio15 were selected as the predictors to be included in the model. In the MaxEnt model, bioclimatic variables were treated as continuous data, and response curves and jackknife analyses were generated to evaluate the outcomes. For the output format of the model, the logistic format, which provides results closest to reality, was used, and the regularization multiplier was set to 1 (Baldwin 2009; Phillips et al., 2006; Kıraç, 2021). The model was run with 10 replicates to achieve the best possible result. The success of the modeling outcome is measured using Receiver Operating Characteristic (ROC) curves, as the

significance of this curve is assessed by the area under the curve (AUC). The AUC value ranges between 0.5 and 1, with values closer to 1 indicating a more reliable model (Kalleci, 2023). The contribution of environmental variables to the model is assessed using the jackknife analysis (Elith et al., 2011). Finally, the resulting habitat suitability maps were visualized using the ArcMap software.

### 3. Results

Cream-colored Courser was modeled for the periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 (SSP 4.5 and SSP 8.5) and six models were generated. Once the scenario results were interpreted, it became evident that the performance of the habitat suitability model was highly dependable (Phillips et al., 2006), (Figure 3).

The model results identified the following bioclimatic variables as significant: BIO 19 (Precipitation of the Coldest Quarter), BIO 3 (Isothermality), BIO 5 (Maximum Temperature of the Warmest Month), BIO 2 (Mean Diurnal Range), BIO 15 (Precipitation Seasonality). The contributions of these bioclimatic variables to habitat suitability modeling are detailed in Table 3.

According to the Jackknife test results for the Cream-colored Courser habitat suitability model, the variable providing the highest contribution to the model alone is BIO 9 (Precipitation of the Coldest Quarter), followed by BIO 3 (Isothermality), BIO 5 (Maximum Temperature of the

Warmest Month), BIO 2 (Mean Diurnal Range), and BIO 15 (Precipitation Seasonality). The values shown are averages derived from repetitions of the model and demonstrate the contributions each variable would make if used individually in the model (Figure 4).

The habitat suitability map for the *Cursorius cursor* is presented in Figure 5. The map depicts the suitability of the habitat, represented from the lowest suitability (indicated by

green) to the highest suitability (represented by red). An analysis of the model map obtained for SSP 4.5 and SSP 8.5 reveals that the *Cursorius cursor* is densely distributed in southeast Anatolia, with a partial spread to the central Anatolian region.

Table 2. Correlation matrix of bioclimate data resulting from correlation analysis

|       | bio1   | bio2   | bio3   | bio4   | bio5   | bio6   | bio7   | bio8   | bio9   | bio10  | bio11  | bio12  | bio13 | bio14  | bio15  | bio16 | bio17 | bio18 | bio19 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| bio1  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio2  | 0.463  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio3  | 0.484  | 0.673  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio4  | 0.225  | 0.610  | -0.130 | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio5  | 0.907  | 0.704  | 0.438  | 0.582  | 1      |        |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio6  | 0.916  | 0.161  | 0.451  | -0.144 | 0.688  | 1      |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio7  | 0.206  | 0.774  | 0.089  | 0.951  | 0.584  | -0.182 | 1      |        |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio8  | 0.398  | 0.054  | 0.003  | 0.078  | 0.331  | 0.346  | 0.062  | 1      |        |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio9  | 0.815  | 0.509  | 0.429  | 0.344  | 0.827  | 0.708  | 0.329  | 0.113  | 1      |        |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio10 | 0.968  | 0.560  | 0.399  | 0.449  | 0.973  | 0.809  | 0.415  | 0.379  | 0.833  | 1      |        |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio11 | 0.956  | 0.287  | 0.519  | -0.055 | 0.763  | 0.984  | -0.067 | 0.374  | 0.737  | 0.864  | 1      |        |       |        |        |       |       |       |       |
| bio12 | -0.362 | -0.637 | -0.378 | -0.451 | -0.506 | -0.132 | -0.538 | -0.208 | -0.423 | -0.425 | -0.224 | 1      |       |        |        |       |       |       |       |
| bio13 | -0.143 | -0.521 | -0.251 | -0.388 | -0.297 | 0.066  | -0.476 | -0.182 | -0.234 | -0.207 | -0.015 | 0.861  | 1     |        |        |       |       |       |       |
| bio14 | -0.478 | -0.562 | -0.348 | -0.458 | -0.606 | -0.301 | -0.485 | 0.003  | -0.612 | -0.547 | -0.357 | 0.730  | 0.366 | 1      |        |       |       |       |       |
| bio15 | 0.729  | 0.515  | 0.379  | 0.399  | 0.764  | 0.584  | 0.382  | 0.075  | 0.665  | 0.767  | 0.638  | -0.397 | 0.017 | -0.761 | 1      |       |       |       |       |
| bio16 | -0.118 | -0.505 | -0.252 | -0.359 | -0.266 | 0.084  | -0.454 | -0.182 | -0.208 | -0.177 | 0.004  | 0.869  | 0.993 | 0.362  | 0.034  | 1     |       |       |       |
| bio17 | -0.483 | -0.578 | -0.346 | -0.482 | -0.619 | -0.296 | -0.507 | 0.001  | -0.613 | -0.557 | -0.355 | 0.747  | 0.383 | 0.996  | -0.769 | 0.378 | 1     |       |       |
| bio18 | -0.480 | -0.575 | -0.356 | -0.468 | -0.617 | -0.302 | -0.498 | 0.072  | -0.689 | -0.551 | -0.356 | 0.717  | 0.379 | 0.961  | -0.739 | 0.374 | 0.964 | 1     |       |
| bio19 | 0.144  | -0.308 | 0.014  | -0.340 | -0.020 | 0.343  | -0.411 | -0.275 | 0.147  | 0.067  | 0.265  | 0.724  | 0.877 | 0.160  | 0.206  | 0.893 | 0.179 | 0.121 | 1     |

Table 3. Mean variable contributions and permutation importance of models

| Variable | SSP 2-4.5                |                            | SSP 5-8.5 |                          |                            |
|----------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|
|          | Percent contribution (%) | Permutation importance (%) | Variable  | Percent contribution (%) | Permutation importance (%) |
| Bio 2    | 47.83                    | 3.17                       | Bio 2     | 47.07                    | 2.07                       |
| Bio 15   | 21.53                    | 22.53                      | Bio 15    | 22.10                    | 27.47                      |
| Bio 12   | 20.17                    | 14.13                      | Bio 12    | 19.70                    | 16.30                      |
| Bio 9    | 4.63                     | 33.10                      | Bio 9     | 5.20                     | 16.00                      |
| Bio 1    | 4.27                     | 16.03                      | Bio 1     | 4.27                     | 28.27                      |
| Bio 8    | 0.97                     | 8.17                       | Bio 8     | 1.03                     | 5.73                       |
| Bio 4    | 0.63                     | 2.83                       | Bio 4     | 0.63                     | 4.17                       |

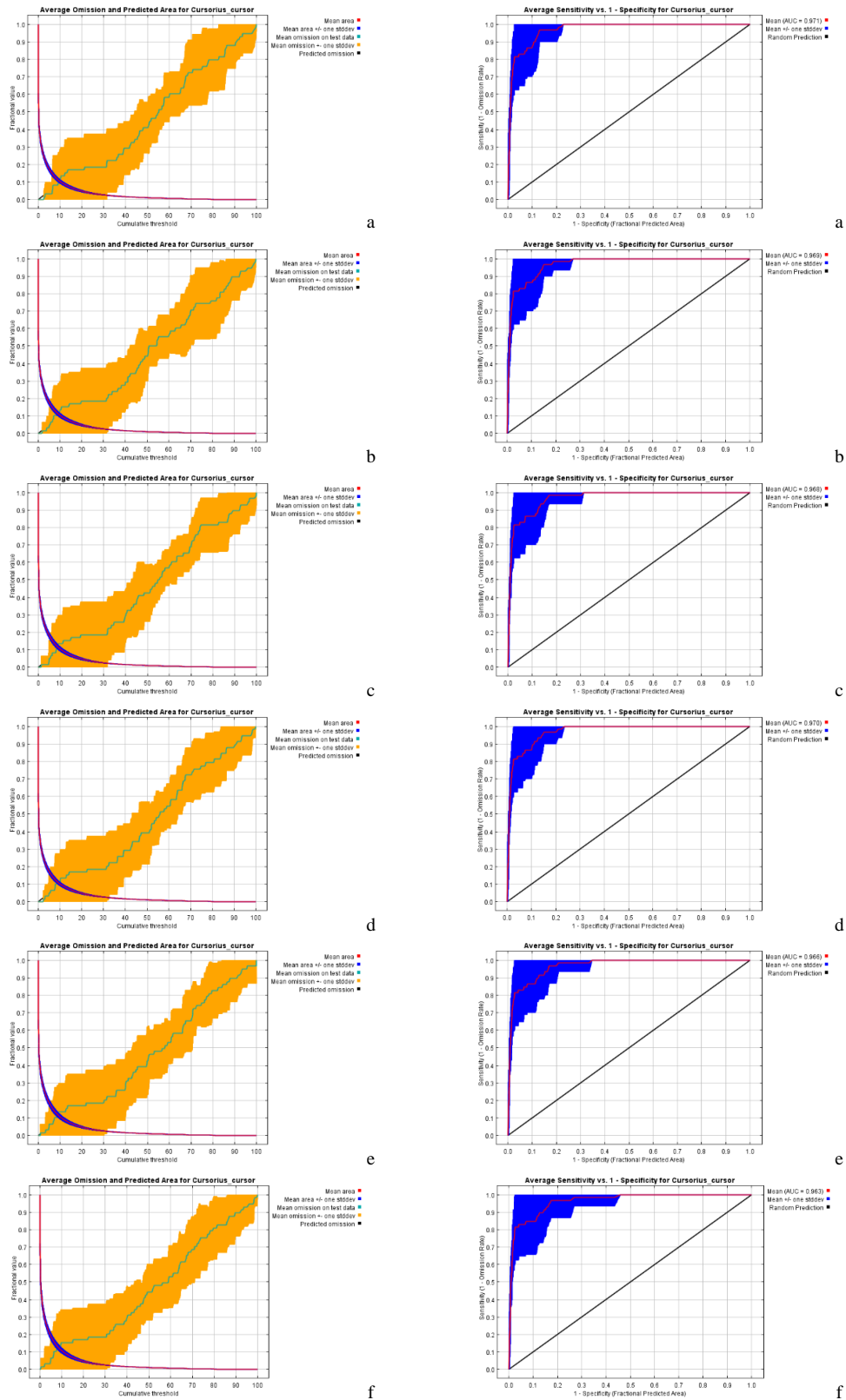


Figure 3. Graphs showing the AUC values and Omission & Predicted Areas a) SSP 2-4.5 2021-2040, b) SSP 2-4.5 2041-2060, c) SSP 2-4.5 2061-2080, d) SSP 5-8.5 2021-2040, e) SSP 5-8.5 2041-2060, f) SSP 5-8.5 2061-2080



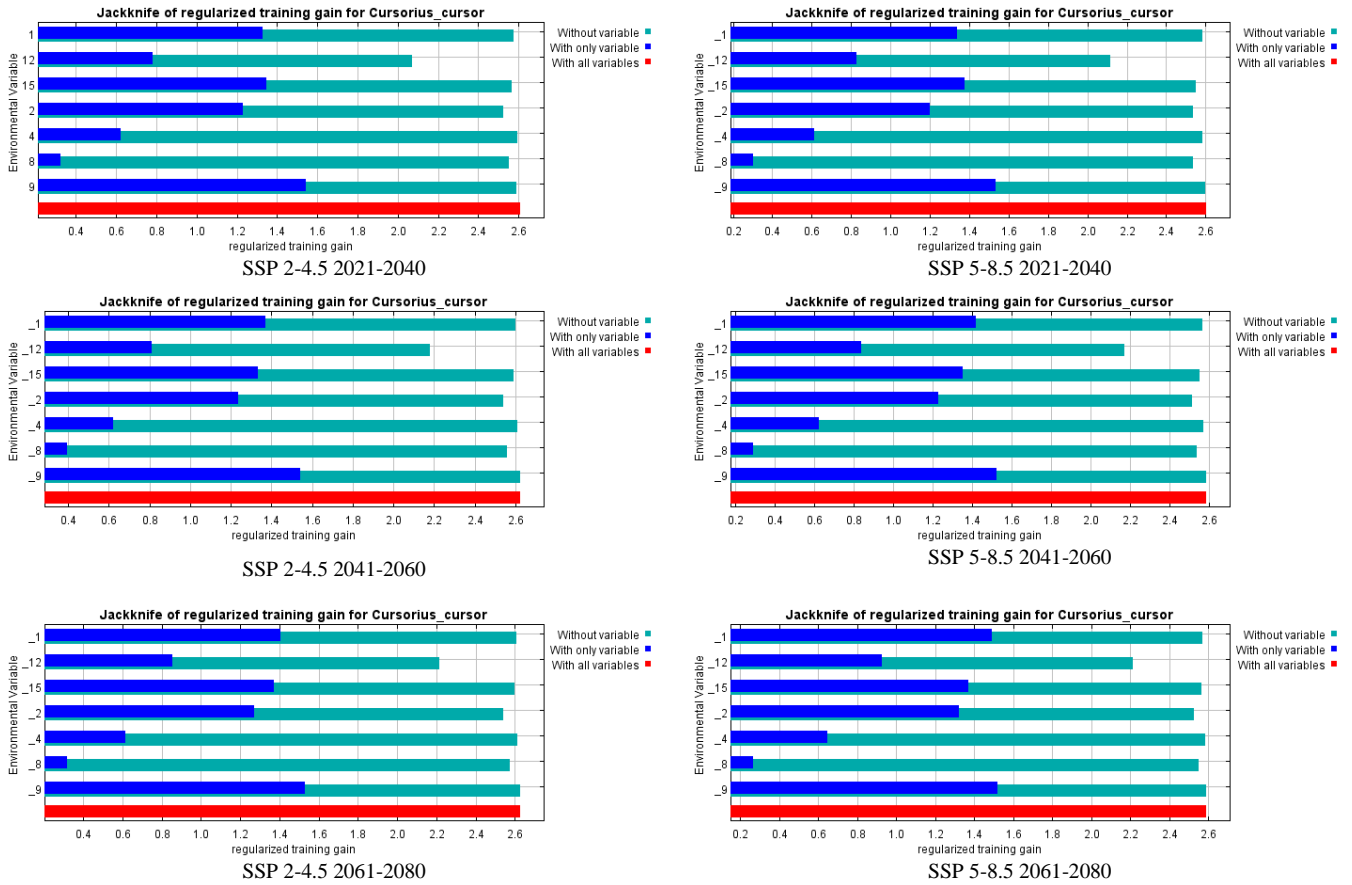


Figure 4. Graphs showing jackknife analysis

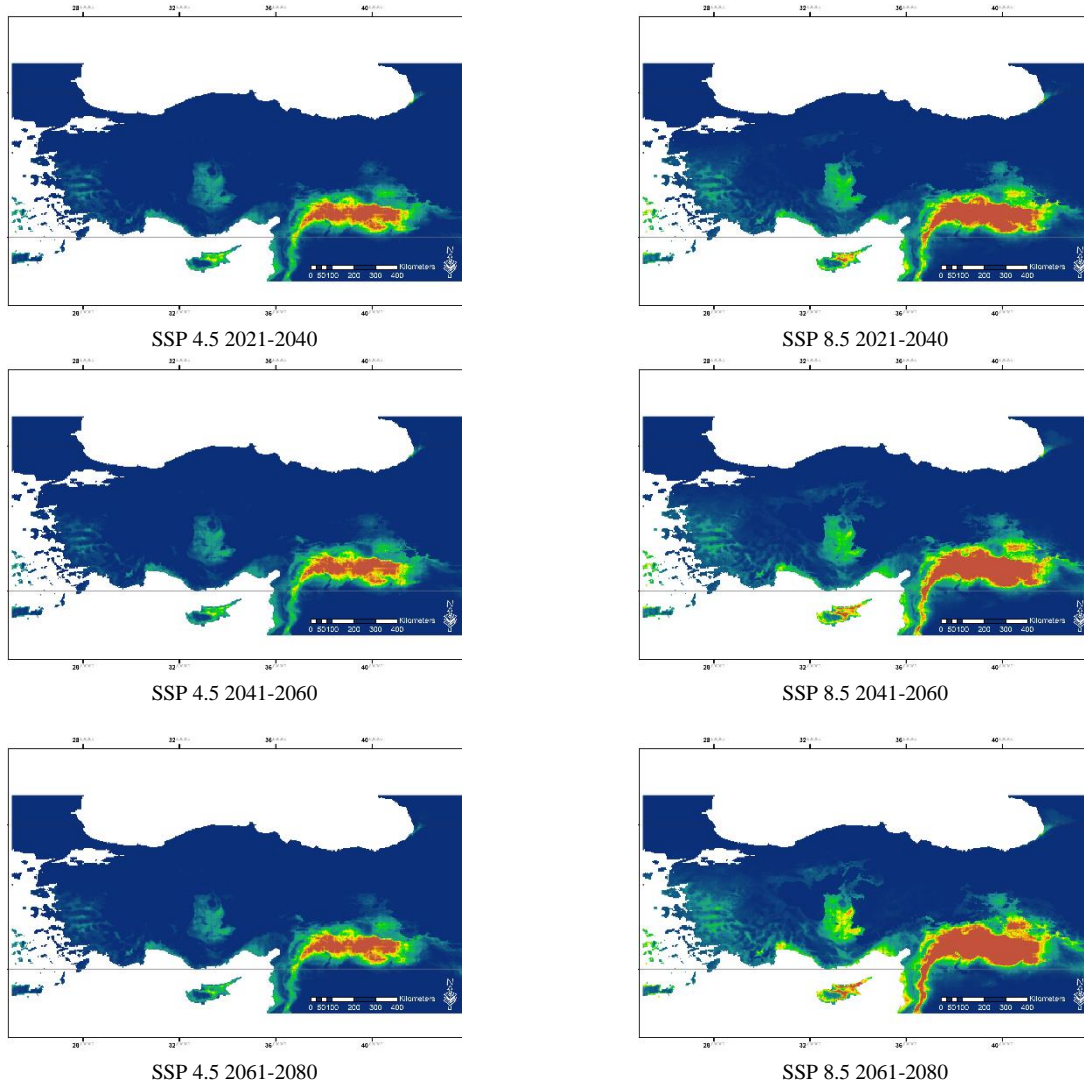


Figure 5. Potential distribution map of the Cream-colored Courser in Türkiye with Maximum Entropy Approach (MaxEnt)

#### 4. Discussion and conclusion

According to the model results, Bio2 has the highest percent contribution at 48.5%, indicating that the variation between day and night temperatures is crucial in determining the suitability of habitats for the Cream-colored Courser. This suggests that the species may be sensitive to changes in temperature variability, which could be exacerbated under future climate change scenarios. Despite its high contribution, the permutation importance is relatively low (3.6%). This suggests that while Bio2 is important in model construction, other variables may have a stronger influence when the model is subjected to random permutations. This discrepancy could indicate that the species' reliance on the mean diurnal range is more context-dependent, varying across regions or under different climate scenarios. Bio12 contributes 18.4% to the model, highlighting the importance of total annual precipitation in defining the species' distribution. This factor becomes increasingly relevant under climate change scenarios, as precipitation patterns are expected to influence the availability of suitable habitats. The relatively high permutation importance of 21.2% indicates

that annual precipitation is a significant predictor in the model and a critical factor in understanding how the Cream-colored Courser may shift its range under future climatic conditions. Under SSP 4.5 and SSP 8.5, changes in precipitation patterns could significantly impact the species' distribution, potentially leading to range contractions or expansions in response to wetter or drier conditions. Bio15 has a percent contribution of 17.5%, reflecting the species' sensitivity to precipitation seasonality. This suggests that the variability in rainfall throughout the year is an important determinant of suitable habitats, particularly in regions where seasonal extremes may become more pronounced under climate change scenarios. However, under future climate scenarios, especially SSP 8.5, where extreme weather events and greater seasonal variability are expected, precipitation seasonality could become more influential in determining the species' future range. Although Bio1 has a lower percent contribution of 5.9%, it has the highest permutation importance (46.9%), indicating that annual mean temperature is a critical factor in defining the Cream-colored Courser's presence. The species' response to temperature changes is likely to be significant under SSP 4.5 and SSP 8.5, with

potential shifts in its range depending on how mean temperatures evolve. Under SSP 4.5, where moderate climate change is anticipated, the species may experience shifts in its distribution to areas with more suitable temperatures. Under SSP 8.5, with more severe warming, the species may face greater challenges, possibly leading to range contractions or shifting towards higher altitudes or latitudes where temperatures remain tolerable.

Under SSP 4.5 and SSP 8.5 scenarios, the distribution of the Cream-colored Courser is likely to be influenced by a combination of temperature-related variables (Bio2 and Bio1) and precipitation patterns (Bio12 and Bio15). The species' current adaptation to specific climatic conditions, such as moderate diurnal temperature range and stable precipitation patterns, suggests that climate change could drive significant changes in its range.

When examining the models obtained under the SSP 4.6 semi-optimistic scenario (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080), it was found that the current distribution area of the Cream-colored Courser is limited to the southern parts of Türkiye. Analysis of the effects of bioclimatic variables on the species' habitat revealed that with a low increase in temperatures and an increase in the daily temperature range, the species' current distribution in southern Türkiye is largely maintained, with minimal impact on the overall distribution. Similarly, limited changes in precipitation and moderate temperatures during rainy periods help keep the species habitats in the southern regions, resulting in no major changes to its current distribution area.

In contrast, when examining the models obtained under the SSP 8.5 pessimistic scenario (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080), it was found that high-temperature increases could lead to the species expanding into areas with higher temperature tolerance and potentially reaching new habitats in the Central Anatolia Region in addition to its current distribution in eastern Türkiye. Increased fluctuations in daily temperature differences and decreases in annual precipitation may lead to the loss of some current distribution areas and potentially create unfavorable conditions, especially in western Türkiye, where elevated temperatures could threaten the species' presence.

A detailed consideration of a population's relationship to its habitat is essential for effectively conserving wild populations. Knowing which habitats are used at higher rates and frequencies allows the identification of the most important biotic and abiotic environmental features. This helps to identify appropriate features to be protected to maintain a suitable conservation status (Cañadas et al., 2005). Habitat loss results in population declines, with smaller populations less likely to be protected over time (Mills, 2012). Doherty et al. (2008) state that it is important to consider the diversity of environmental features in a habitat and the changes in a species preferences due to variable behavioral changes. This may be according to the time of year, food availability, amount of competition, predation risk, and critical life stages. Consideration of these factors is essential in developing conservation management planning. It has been reported in the literature that biotic interactions such as competition or predation or habitat characteristics such as vegetation limit distribution within species at small population scales. At the same time, abiotic factors are the main factors affecting the distribution and abundance of species at large population scales (Newton, 2003).

Studies have shown that climate change can interact with other environmental factors, such as forest fires and vegetation dynamics, further complicating predictions of its impact on bird communities (Regos et al., 2017). Understanding these dynamics is important for developing effective conservation strategies to reduce the effects of climate change on Cream-colored Coursers and other bird species.

Changes in temperature and precipitation patterns can affect the availability of insects and small invertebrates that Cream-colored Courser rely on for food (Pautasso, 2012). In addition, changes in vegetation and habitat structure due to climate change can affect the suitability of nesting sites for Cream-colored Courser, potentially leading to declines in reproductive success (Pautasso, 2012). The ability of the Cream-colored Courser to adapt to these changing environmental conditions will be crucial for its long-term survival in the face of climate change (Regos et al., 2017).

As a result, the *Cursorius cursor*, like many other bird species, is vulnerable to the effects of climate change that can disrupt its feeding, breeding, and general survival. This bird species, which has a distribution in desert climates, has spread to the Salt Lake in the middle of Anatolia clearly shows that Türkiye may also be affected by climate change. In particular, the biggest problems threatening wildlife elements in Türkiye due to climate change and land use change in recent years are the risk of drying out and extinction of wetlands. Unfortunately, with the drying up of wetlands and the loss of habitat suitability, it is likely that species adapted to desert climates, such as the Cream-colored Courser, will spread to unexpected areas.

As a result, minimizing the effects of climate change, understanding the impact of climate change on wildlife and bird species, reducing the threats posed by these environmental changes, and developing conservation strategies to protect biodiversity in the face of ongoing transformations are of significant importance and studies should continue in this context.

## References

- Alho, M., Granadeiro, J., Reyes, J., Gerales, P., Catry, P., 2021. Characterization of an extinct seabird colony on the island of Santa Luzia (Cabo Verde) and its potential for future recolonizations. *Journal of Ornithology*, 163(1): 301-313. <https://doi.org/10.1007/s10336-021-01923-8>
- Ankahaber, 2022. Sadece Çöl Koşullarında Yaşayan Çöl Kuşarı Kuşunun Tuz Gölü'nde Görülmesi Kaygılandırdı. [https://ankahaber.net/haber/detay/sadece\\_col\\_kosullarinda\\_yasayan\\_col\\_kosari\\_kusunun\\_tuz\\_golunde\\_gorulmesi\\_kaygilandirdi\\_87724](https://ankahaber.net/haber/detay/sadece_col_kosullarinda_yasayan_col_kosari_kusunun_tuz_golunde_gorulmesi_kaygilandirdi_87724) Accessed: 10.08.2024
- Asensio, L., Lauenroth, W., 2012. Conservation grazing management: a novel approach to livestock management and biodiversity conservation on the Canary Islands. *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(7): 744-758. <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.627992>
- Baldwin, R.A. 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4): 854-866. <https://doi.org/10.3390/e11040854>
- Boano, G., Belemsobgo, U., Silvano, F., Hema, E. M., Belemsobgo, A., Dimobe, K., Pavia, M., 2022. An annotated checklist of the birds of Burkina Faso. *Zoosystema*, 44(2): 27-107. <https://doi.org/10.5252/zoosystema2022v44a2>

- Cañadas, A., Sagarminaga, R., De Stephanis, R., Urquiola, E., Hammond, P., 2005. Habitat preference modeling as a conservation tool: proposals for marine protected areas for cetaceans in southern Spanish waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(5): 495-521. doi:10.1002/aqc.689
- Commons wikimedia, 2024. Cream-colored courser (*Cursorius cursor*) in Jbil National Park, situated within the Sahara Desert. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Courvite\\_Isabelle\\_Jbil\\_N\\_P\\_002.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Courvite_Isabelle_Jbil_N_P_002.jpg), Accessed: 10.08.2024
- Cotton, P., 2003. Avian migration phenology and global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(21): 12219-12222. <https://doi.org/10.1073/pnas.1930548100>
- Crick, H., 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*, 146: 48-56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2004.00327.x>
- Davis, C., Willis, C., Primack, R., Miller-Rushing, A., 2010. The importance of phylogeny to the study of phenological response to global climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 365(1555): 3201-3213. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0130>
- Diehl, R., 2019. Timing of migration shifts en masse. *Nature Climate Change*, 10(1), 18-19. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0668-5>
- Doherty, K. E., Naugle, D. E., Walker, B. L., Graham, J. M., 2008. Greater sage-grouse winter habitat selection and energy development. *Journal of Wildlife Management*, 72(1): 187-195. doi:10.2193/2006-454
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., Yates, C. J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1): 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Evcin, Ö., 2023. İklim Değişiminin Yaban Hayvanları ve Habitat Tercihlerine Olan Etkileri. In: İklim Değişikliği: Orman Ekosistemlerinde Etkileri ve Yönetimi Kitabı (Ed: Ayan, S.),Palme Kitabevi, Ankara, pp:347-358.
- 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.
- Glushenkov, O., 2017. The extending of ranges of some bird species at the north-eastern border of their distribution due to intra-century climate changes. *Nature Conservation Research*, 2(3): 23-29. <https://doi.org/10.24189/ncr.2017.047>
- Huntley, B., Green, R.E., Collingham, Y.C., Willis, S.G., 2008. A Climatic Atlas of European Breeding Birds. Lynx Edicions, Barcelona.
- Jaffré, M., Beaugrand, G., Goberville, É., Jiguet, F., Kjellén, N., Troost, G., Dubois, P.J., Lepretre, A., & Luczak, C., 2013. Long-term phenological shifts in raptor migration and climate. *Plos One*, 8(11): e79112. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079112>
- Jetz, W., Wilcove, D.S., Dobson, A.P., 2007. Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLoS Biology*, 5(6): e157.
- Kalleci, B., 2023. Kastamonu Ilgaz Dağı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası ve Gavurdağı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası arasındaki yaban hayatı ekolojik koridorlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Karataş, A., 2023. Range extension of the cream-coloured courser *cursorius cursor* to Central Anatolia (aves: charadriiformes). *Zoology in the Middle East*, 69(4): 420-423. <https://doi.org/10.1080/09397140.2023.2284018>
- Kıraç, A., Mert, A., 2019. Will Danford's lizard become extinct in the future. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(3): 1741-1748. <http://doi.org/10.15244/pjoes/89894>
- Kıraç, A., 2021. Potential distribution of two lynx species in europe under paleoclimatological scenarios and anthropogenic climate change scenarios. *Cerne*, 27: e-102517. <https://doi.org/10.1590/01047760202127012517>
- López-Ramírez, S., 2024. Evaluating the expansion of African species into Europe driven by climate change. *Diversity and Distributions*, 30(6). <https://doi.org/10.1111/ddi.13840>
- Mills, L. S., 2012. Conservation of wildlife populations: demography, genetics, and management. John Wiley & Sons.
- Newton, I., 2003. The Speciation and Biogeography of Birds. Academic Press, London.
- Özdemir, S., Özkan, K., Mert, A., 2020. An ecological perspective on climate change scenarios. *Biological Diversity and Conservation*, 13(3): 361-371. <https://doi.org/10.46309/biodicon.2020.762985>
- Palomino, D., Seoane, J., Carrascal, L., Alonso, C., 2008. Competing effects of topographic, lithological, vegetation structure and human impact in the habitat preferences of the cream-coloured courser. *Journal of Arid Environments*, 72(4): 401-410. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.07.007>
- Pautasso, M., 2012. Observed impacts of climate change on terrestrial birds in Europe: An overview. *Italian Journal of Zoology*, 79(2): 296-314. <https://doi.org/10.1080/11250003.2011.627381>
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4): 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- R Core Team, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Regos, A., Clavero, M., D'Amen, M., Guisan, A., Brotons, L., 2017. Wildfire-vegetation dynamics affect predictions of climate change impact on bird communities. *Ecography*, 41(6): 982-995. <https://doi.org/10.1111/ecog.02990>
- Rice, R., 2023. Environmental education in the classroom: pilot study in Cabo Verde suggests differing impacts on local knowledge and environmental attitudes. *Oryx*, 58(2): 210-217. <https://doi.org/10.1017/s0030605323000303>
- Süel, H., Özdemir, S., Yalçınkaya, B., 2022. Assessing Climate Change Impacts on the Genus Anser in Turkey. In: Soil, Forest and Water Researches Giving Life to Humans (Ed: Özdemir, S., Çiçekler, M.), Klaipeda: SRA Academic Publishing, pp:89-118.
- Teyar, Y., 2023. Breeding ecology of the cream-coloured courser *Cursorius cursor* (Glaucolidae) on semi-arid grazing land in Souss Massa National Park, southwestern Morocco. *Ostrich*, 94(3): 234-238. <https://doi.org/10.2989/00306525.2023.2266774>
- Thomas, C.D., Lennon, J.J., 1999. Birds extend their ranges northwards as a result of climate warming. *Nature*, 399(6733): 213-213.
- Traba, J., Acebes, P., Malo, J., García, J., Carriles, E., Radi, M. & Znari, M., 2013. Habitat selection and partitioning of the Black-bellied sandgrouse (*Pterocles orientalis*), the stone curlew (*Burhinus oedicephalus*) and the cream-coloured courser (*Cursorius cursor*) in arid areas of North Africa. *Journal of Arid Environments*, 94: 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.02.007>
- Trautmann, S., 2018. Climate Change Impacts On Bird Species., In: Bird Species How They Arise, Modify and Vanish (Ed: Dieter Thomas Tietze), Springer Open, 217-234. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91689-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91689-7_12)
- Travis, J.M.J., 2003. Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1514): 467-473.
- Žalakevičius, M., 2001. A review of the practical problems resulting from the impact of the climate warming on birds. *Acta Zoologica Lituonica*, 11(3): 332-339. <https://doi.org/10.1080/13921657.2001.10512467>

## Burdur-Pamucak yöresi doğal kızılçam meşcereleri için meşcere boy gelişiminin modellenmesi

Serdar Carus<sup>a,\*</sup>, Sahra Karakaş<sup>b</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, Burdur-Pamucak yöresinde yer alan doğal yoldan gelmiş kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinden alınan 74 örnek nokta verisi ile literatürde çok kullanılan toplam 20 adet meşcere boy gelişimi modelinin tahmin başarıları karşılaştırılmıştır. Araştırmada, örnek nokta verileri iki alt gruba ayrılmış olup, birinci grup (n=50 ve yaklaşık %70) model geliştirmek için, ikinci grup ise (n=24 ve yaklaşık %30) geliştirilen modellerin uygunluğu test edilmiştir. Meşcere boy gelişimi modelleri parametre sayısı bakımından iki (n=7), üç (n=10) ya da dört parametrelili (n=3) olmak üzere üç gruba ayrılmış ve tek ağaç boyu tahminlerindeki performansları, altı farklı istatistiksel ölçüt (Ortalama mutlak hata (2.04), Maksimum mutlak hata (8.81), Hata karelerinin ortalamasının karekökü (2.75), Belirtme katsayısı (0.706), Ortalama hata (-0.18) ve Akaike bilgi ölçütü (915.30)) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Test edilen modeller içinde en başarılı sonuçlar sırasıyla, 3 Parametrelili Seber- Wild, 3 Parametrelili Seber- Wild ve 4 Parametrelili Zeide tarafından geliştirilen modeller ile elde edilmiştir. Bağımsız veri seti ile yapılan değerlendirmede de yakın sonuçlar bulunmuştur. Çalışmada geliştirilen ve başarılı bulunan modeller kullanılarak, Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan benzer özelliklere sahip doğal kızılçam meşcereleri için göğüs çapı yardımıyla tek ağaç boyunun güvenle tahmin edilmesi mümkündür.

**Anahtar kelimeler:** Kızılçam, Çap, Boy, Meşcere boy gelişimi

## Modeling of stand height curves for natural brutian pine stands in Burdur-Pamucak region

**Abstract:** In this study, a total of 20 diameter-height (h-d) models were tested using 74 sample plot data taken from natural Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in the Burdur-Pamucak region. The sample plot data was divided into two groups, the first group (n= 50 and nearly 70%) was used to develop models, and the second group (n=24 and nearly 30%) was used to test the developed models. The performances of the developed height-diameter models with two (n=7), three (n=10) or four parameters (n=3) in height estimation were compared using six different statistical criterion values (Mean Absolute Error (2.04), Maximum Absolute Error (8.81), RMSE (2.75), R<sup>2</sup> (0.706), Mean Error (-0.18) and AIC (915.30). The most successful results were obtained with the 3-parameter models developed by Seber-Wild, Seber-Wild and 4-parameter model, Zeide, respectively. Similar results were obtained in the evaluation using an independent data set. By using the best h-d equation developed in this study, it is possible to estimate single tree height with the help of diameter at breast height for Brutian pine stands with similar characteristics within the region of Pamucak Forest Directorate.

**Keywords:** *Pinus brutia*, Diameter, Height, Stand height development

### 1. Giriş

İnsanların bilinçsiz bir şekilde ormanlardan yararlanmaları sonucunda dünyamızdaki orman kaynaklarının azalması ve doğal dengenin bozulması sorunu ortaya çıkmıştır. Zamanla, ormanların daha düzenli bir işletmeye sokulması düşüncesi ortaya çıkmıştır (Kalıpsız, 1982). Son yıllarda orman amenajman planlarının düzenlenmesinde ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımında farklı ağaç türü, yetişme ortamı ve meşcere sıklığı olan meşcereler için belirlenmelidir (Çepel, 1984; Özçelik ve Çapar, 2014). Örneğin, meşcere simülasyon programında çap-boy modelleri ile meşcerede ağaçların ve toplamı olarak da meşcerenin belirli zaman periyotlarındaki

hacmini belirlemede tek ağaç boyu tahmini edilmektedir (Carus, 1998). Artım ve büyümeyi gösteren bu altlıklar bazı çalışmalar sayesinde hazırlanmakta ve daha doğru hacim ve biyokütle tahminleri yapılabilmektedir. Ayrıca ormanlık uygulamalarında özellikle orman envanterinde her ağacın boyu da zaman alıcı olması, çok fazla emek sarfi ve ekonomik açıdan zahmetli olması nedeniyle ağaç boyunu tahmin etmek için boy gelişimi denklemleri geliştirilmesi gerekli ve önemli arz etmektedir (Kalıpsız, 1982).

Ülkemizde asli orman ağaçlarımız için ulusal anlamda çeşitli çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller genel anlamda söz konusu tür ile ilgili bilgiler vermektedir. Ancak, bu modelleri bölge veya yöre bazında incelediğimizde tahmin oranı azalmaktadır. Bu nedenle asli orman ağacı olarak

✉ <sup>a</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>b</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doğu Yerleşkesi, 32260, Isparta, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): serdarcarus@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 17.04.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.06.2024



**Citation** (Atıf): Carus, S., Karakaş, S., 2024. Burdur-Pamucak yöresi doğal kızılçam meşcereleri için meşcere boy gelişiminin modellenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 267-274.  
DOI: [10.18182/tjf.1452128](https://doi.org/10.18182/tjf.1452128)

sayılan türlerimiz için yöresel çap-boy modelleri geliştirilmelidir (Carus, 1998).

Çap-boy modellerinin geliştirilmesinde; i) doğrusal modeller (yüksek doğruluk düzeyi istenmeyen az veri içeren çalışmalar), ii) doğrusal olmayan modeller (çok sayıda veriye dayanan esnek nitelikte) kullanılmaktadır (Arabatzis ve Burkhart, 1992; Huang vd., 1992; Diamantopoulou vd., 2023). Çap-boy modelleri ülkemiz ormancılığında, hasılat çalışmaları, büyüme tahminleri, simülasyon çalışmaları, bonitet endeks modelleri, biyokütle tahmini ve orman zararlılarının etkilerinin belirlenmesi gibi birçok alanda faydalı bir araç olarak kullanılmaktadır.

Çalışmamızda, çap-boy (h-d) modelleri konusunda yöresel ve bölgesel düzeyde meşcerelerin farklı yaşta, farklı verim gücünde (bonitet) ve farklı sıklıktaki meşcereler için basit ve genelleştirilmiş nitelikte h-d modelleri geliştirilmektedir. Ayrıca yurt dışında değişik ağaç türlerinde çok sayıda h-d denklemi geliştirilmiştir (Wykoff vd., 1982; Colbert vd., 2002; Castedo Dorado vd., 2006; Alkan ve Koparan, 2023). Ancak, ülkemizde oldukça sınırlı sayıda ağaç türü ve meşcere kuruluşları için h-d regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Mısır, 2010; Çatal, 2012; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ercanlı vd., 2012; Özçelik ve Çapar, 2014; Göçer, 2016; Carus ve Akguş, 2018; Bolat vd., 2022; Koparan, 2023). Bu çalışmada yöresel ölçekte basit çap-boy modelleme konusuna değinilmiştir.

Kızılcım türünün araştırma konusu olarak seçilmesinde; türün ekonomik değerinin olması, verimli nitelikte geniş alanlar kaplaması ve yöresel olarak elde edilecek bilgilerin, yöredeki çeşitli araştırmacı ve uygulamacılar tarafından kullanılmasına potansiyeli vardır. Bu amaçla çalışmamızda, Burdur- Pamucak yöresinde doğal yoldan gelmiş aynı yaşlı kızılçam meşcereleri için meşcere boy eğrilerinin modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde sıklıkla kullanılan 20 adet h-d modeline ilişkin parametre değerleri tahmin edilmiştir. Daha sonra da altı farklı başarı ölçütü değerleri kullanılarak hangi modelin verilere daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Çalışmamızın materyali, doğal yoldan gelmiş, orta veya normal kapalılığa yakın aynı yaşı kızılçam meşcerelerinin yer aldığı Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Bucak Orman İşletme Müdürlüğü, Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları dahilinde kalmaktadır. Çalışma alanımızın konumu haritada gösterilmiştir (Şekil 1).

### 2.2. Yöntem

#### 2.2.1. Örnek noktalarda yapılan ölçüm ve tespitler

Arazi çalışması, 2023 yılı Haziran-Temmuz ayları içerisinde yapılmıştır. Aranılan meşcere özelliklerine sahip toplam 74 adet örnek nokta alınmıştır. Bu örnek noktalar daire, kare veya dikdörtgen şekline sahip olmayıp nokta örneklemesine aittir (Kalıpsız ve Eler, 1984). Yani örnek noktada durularak 20-30m sağ veya sol, aşağı veya yukarıdaki ağaçlardan olmak üzere toplam 30'a yakını rastgele ağaç seçilmiştir. Bu farklı yöntem, h-d modellerinde meşcere değişkenlerini (G, N, V, T) yer almadığından tercih edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

Örnek nokta seçiminde, orman amenajman planında farklı bölmelerin seçiminde gelişme çağı ve bonitet sınıflarını içerecek şekilde yani, farklı meşcere tipi, orta çap, yaş, eğim, baki, yükselti ve yamaç konumu (üst yamaç, orta yamaç, sırt veya taban) olan yerlerden alınmasına özen gösterilmiştir. Örnek noktalardan toplanan verilerin sağlıklı olması açısından buna uyulması planlanmıştır. Örnek noktalarda örnek ağaçlar seçiminde tepesi kırık, çatal, böcekli, gövdesi yaralı, gövde biçimi bozuk vb. kötü nitelikli bireyler alınmamıştır. Çalışmanın yapıldığı alanlarda örnek noktaların orta ve normal kapalılıkta olmasına özen gösterilmiştir. Çalışma alanımızdaki doğal kızılçam meşcerelerinden toplam 74 adet örnek nokta alınmıştır. Nokta sayısı için gelişim çağı (b, c, d ve e), bonitet sınıfları (I, II, III), kapalılık (2 ve 3) ve model test - model geliştirme verisi grubu (1 ve 2) dikkate alındığında örnek nokta sayısı yeterli görülmüştür. Örnek noktadaki her bir ağacın göğüs yüksekliği (1.30m) çapları çap ölçer ve ağaç boyları da Silva boy ölçer yardımı ile ölçülmüştür.

#### 2.2.2. Verilerin değerlendirilmesi ve istatistik analizi

Örnek nokta verilerinin yaklaşık %70'i (50 örnek nokta) model geliştirmek için verilerin geri kalan yaklaşık %30'u da (24 örnek nokta) geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Örnek noktalarda ölçülen değişkenlerin bazı istatistikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışma kapsamında test edilen 2, 3 ve 4 parametrelili modellerin denklem formları, yararlanılan kaynaklar ve model numaraları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çalışmamızda, geliştirilen h-d modellerinin verilere uygunluklarını (başarılarını) test etmek amacıyla, altı ölçüt kullanılmıştır. Bunlar sırası ile, Ortalama mutlak hata (OMH), Maksimum mutlak hata (MMH), Hata kareleri ortalamasının karekökü (RMSE), belirtme katsayısı ( $R^2$ ), Ortalama hata (OH), Akaike bilgi ölçütü (AIC)'dür (Çizelge 3).

Çizelge 1. Çap-boy modellerini geliştirmek ve test etmek için kullanılmış örnek ağaçlara ilişkin bazı istatistikler

| Değişkenler | Model geliştirme verileri (n=1862) |      |       | Model test verileri (n=898) |          |      |       |                |
|-------------|------------------------------------|------|-------|-----------------------------|----------|------|-------|----------------|
|             | Ortalama                           | Min. | Maks. | Standart Sapma              | Ortalama | Min. | Maks. | Standart Sapma |
| d (cm)      | 32.8                               | 8.0  | 82.0  | 12.6                        | 30.3     | 8.0  | 64.0  | 12.1           |
| h (m)       | 16.0                               | 7.0  | 25.0  | 4.2                         | 15.0     | 8.0  | 24.0  | 4.3            |

Çizelge 2. Çap-boy modellerinin geliştirilmesi için kullanılan modeller

| Model             | 2-parametreliler                               | Kaynaklar (Yıl)        | Model no |
|-------------------|--|------------------------|----------|
| Hyperbolic        | $h = 1.30 + \frac{d^2}{(a + b * d)^2}$         | Meyer (1940)           | 1        |
| Hyperbolic        | $h = 1.30 + \frac{a * d}{(1 + d)^b}$           | Curtis (1967)          | 2        |
| Exponential       | $h = 1.30 + a * e^{(-b*d^{-1})}$               | Ratkowsky (1990)       | 3        |
| Exponential       | $h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})$              | Ratkowsky (1990)       | 4        |
| Power             | $h = 1.30 + a * d^b$                           | Huang-Titus (1992)     | 5        |
| Hyperbolic        | $h = 1.30 + \frac{a * d}{(b + d)}$             | Wykoff vd. (1982)      | 6        |
| Exponential       | $h = 1.30 + e^{(a-b*(d+1)^{-1})}$              | Wykoff vd. (1982)      | 7        |
| 3- parametreliler |  |                        |          |
| Hyperbolic        | $h = 1.30 + \frac{d^2}{a + b * d + c * d^2}$   | Prodan (1968)          | 8        |
| Logistic          | $h = 1.30 + \frac{1}{1 + b * e^{(-c*d)}}$      | Pearl-Reed (1920)      | 9        |
| Chapman-Richards  | $h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)})^c$            | Richards (1959)        | 10       |
| Weibull           | $h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*d)^c})$            | Yang vd. (1978)        | 11       |
| Gompertz          | $h = 1.30 + a * e^{(-b*e^{(-c*d)})}$           | Winsor (1932)          | 12       |
| Linear            | $h = a + b * d + c * d^2$                      | Prodan (1968)          | 13       |
| Power             | $h = 1.30 + a * d^{b*d^{-c}}$                  | Sibbesen (1981)        | 14       |
| Korf/Lundqvist    | $h = 1.30 + a * e^{(-b/(d+c))}$                | Seber- Wild (1989)     | 15       |
| Exponential       | $h = 1.30 + a * e^{(-b/(d+c))}$                | Seber- Wild (1989)     | 16       |
| Logistic          | $h = 1.30 + \frac{1}{1 + b * d^c}$             | Ratkowsky-Reedy (1986) | 17       |
| 4- parametreliler |  |                        |          |
| Chapman-Richards  | $h = 1.30 + a * (1 - b * e^{(-c*d_{1.30})})^d$ | Richards (1959)        | 18       |
| Exponential       | $h = 1.30 + a * e^{(-b*e^{(-c*d_{1.30})})^d}$  | Zeide (1993)           | 19       |
| Weibull           | $h = 1.30 + a * (1 - e^{(-b*(d_{1.30}-c)^d})}$ | Seber-Wild (1989)      | 20       |

h=ağaç boyu (m), d ve  $d_{1.30}$ =göğüs çapı (cm), e=eular sabiti ( $\approx 2,718$ ) ve a,b,c,d=model parametreleri.

Çizelge 3. Geliştirilen h-d modellerini test etmek için kullanılan ölçütler

| Uygunluk testi modeli   | Uygunluk testi adı                   |
|---|--------------------------------------|
| $OMH = \sum_{i=1}^n  h_i - \hat{h}_i $  | Ortalama mutlak hata                 |
| $MMH = \max( h_i - \hat{h}_i )$   | Maksimum mutlak hata                 |
| $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{n - p}}$                        | Hata kareleri ortalamasının karekökü |
| $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_i)^2}$ | Belirtme katsayısı                   |
| $OH = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \hat{h}_i)}{n}$                                       | Ortalama hata                        |
| $AIC = n * \ln(RMSE) + 2 * p$   | Akaike bilgi ölçütü                  |

Burada,  $h_i$ ,  $\bar{h}_i$ ,  $\hat{h}_i$ , ve  $\bar{\hat{h}}_i$  sırasıyla ölçülen, ölçülen değerlerin ortalaması, tahmin değeri ve tahmin edilen değerlerin ortalamasını, n= gözlem sayısı, p= parametre sayısı ve ln= doğal logaritma.

Bu ölçütlerden  $R^2$ , tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki açıklama düzeyini göstermektedir. Boy tahminlerinin doğruluğu RMSE (hata kareleri ortalamasının karekökü) kullanılarak belirlenecektir. Ortalama hata, tahmin tutarlılığını belirlemek için kullanılacak ve AIC, tüm modeller arasından en başarılı tahminleri yapan modeli seçmek için kullanılacaktır. Çalışmada OMH, RMSE, OH,

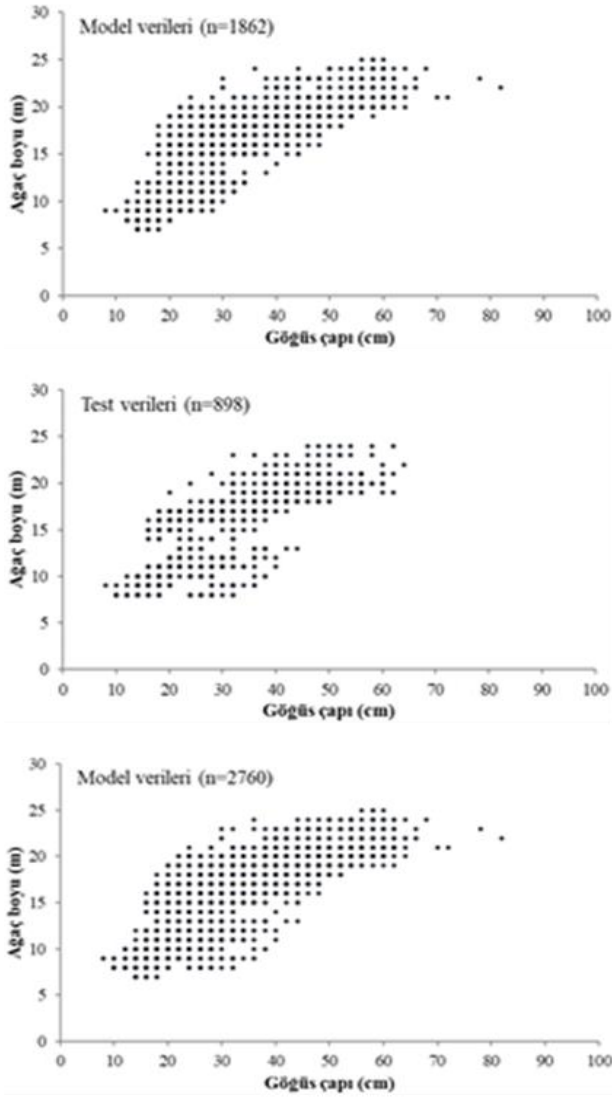
MMH ve AIC kriterlerinde en düşük değere sahip model en başarılı model olarak seçilirken,  $R^2$  kriterinde en katsayıya sahip model tercih edilecektir.

Elde edilen sıralamaların toplamı küçük ise model başarılı kabul edilmiştir. Ayrıca, geliştirilen modellerin performansı, tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin 1:1 dağılım grafiği ile değerlendirilmiştir. Verilerin modele uyumunu ve regresyon katsayılarını belirlemek için IBM SPSS Statistics Version 22 istatistik paket programında Doğrusal olmayan regresyon analizi "non-linear (NLIN)" fonksiyonu kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve tartışma

Burdur-Pamucak yöresinde doğal, aynı yaşlı ve orta veya normal kapalılığa yakın kızılçam meşcerelerinde göğüs çapından yararlanılarak tek ağaçta boy tahmini için modeller geliştirilmiştir. Bu amaçla, meşcerelerden toplanan çap-boy değerleri regresyon analizleri ve çap-boy modellenmesine ait istatistiksel analizler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Tek ağaçta boyun tahmini için, model verileri, test verileri ve tüm veriler (model verileri) grafikleri Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Örnek ağaçların çap ve boy ölçümleri ile model (a), test (b) ve tüm veri (c) grubu için oluşturulan çap-boy dağılımları

### 3.1. Çap- boy modelleri

Bu alt bölümde, ilk önce modelleri topluca ve daha sonra da modellerin parametre sayısına göre başarıları incelenmiştir. IBM SPSS Statistics Version 22 programında model grubu, test grubu ve tüm veri grubu şeklinde veriler dosyalar halinde ayrılmışlardır. 20 adet model için ayrı ayrı doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanılarak regresyon katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4). Bazı modellerin parametreleri önemsiz, modellerin çoğunluğunda ise model parametreleri 0.001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Başarı ölçüt değerleri de Çizelge 4'te verilmiştir. Modellerin belirtme katsayıları en azından  $R^2 > 0.591499$  (m12 nolu model) olduğu ve h-d arasında oldukça yüksek bir belirtme katsayısını göstermektedir.

Çizelge 5' ten en başarılı modelin 3 Parametrelî Korf/Lundgvist (m15) modeli olduğu, bu modeli sırasıyla 3 Parametrelî Exponential (m16), 4 Parametrelî Exponential (m19), 4 Parametrelî Weibull (m20) ve 3 Parametrelî Hyperbolic (m8) modelinin izlediği görülmüştür. En başarısız sonuçların ise en başarısızdan başlayarak 4 Parametrelî Chapman-Richards (m18), 3 Parametrelî Gompertz (m12) ve 2 Parametrelî Power (m5) modellerinin verdiği tespit edilmiştir.

Modele ait OH değerleri çok küçük bir değer olarak bulunmuştur. OH değerlerinin küçük çıkması toplam ortalama boy hatasının küçük çıkacağını göstermiştir. Yine standart sapmayı belirten düşük RMSE değerleri de varyansın da fazla olmadığını göstermiştir. Çalışmada modele ilişkin istatistikler ve katsayılar daha önce söz konusu çap- boy ilişkisi için kullanılan model sonuçlarına yakın bulunmuştur (Larsen ve Hann, 1987; Colbert vd., 2002).

Doğal kızılcım meşcereleri için geliştirilmiş h-d modellerinin tahmin değerleri bağımsız veri seti kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen bulgular model geliştirme sonuçlarına benzerlik göstermektedir.

#### 3.1.1. İki parametrelî çap- boy modelleri

2 Parametrelî 7 adet model (m1-m7) kendi içerisinde başarı ölçüt değerlendirmesi de yapılmıştır. Başarılı bulunan m1 modeline Meyer (1940; Hyperbolic model) ait regresyon katsayıları kullanılarak yapılan boy tahmin değerleri ile ölçüm sonucu elde edilen gerçek değerler alındığı çapa karşılık olarak bir grafik üzerinde noktalanmıştır (Şekil 3). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır. Hata miktarının da azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4. Çap- boy modeline ait regresyon katsayıları

| Model no | Katsayılar   |                          |                         |                          |
|----------|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
|          | a            | b                        | c                       | d                        |
| m1       | 2.446935     | 0.180027                 | -                       | -                        |
| m2       | 2.011033     | 0.420934 <sup>ns</sup>   | -                       | -                        |
| m3       | 25.660524    | 17.007583                | -                       | -                        |
| m4       | 23.969870    | 0.030071                 | -                       | -                        |
| m5       | 1.795670     | 0.602023 <sup>ns</sup>   | -                       | -                        |
| m6       | 35.985589    | 46.201383                | -                       | -                        |
| m7       | 3.268735     | 18.401692                | -                       | -                        |
| m8       | 15.948166    | 0.203503                 | 0.042508                | -                        |
| m9       | 19.691382    | 5.981916                 | 0.097718                | -                        |
| m10      | 20.741809    | 0.060216                 | 1.840651                | -                        |
| m11      | 20.497261    | 0.012906                 | 1.353802                | -                        |
| m12      | 0.000204     | -10.655016 <sup>ns</sup> | -0.001413 <sup>ns</sup> | -                        |
| m13      | 1.029542     | 0.659114                 | -0.005399               | -                        |
| m14      | 0.002642     | 5.366422                 | 0.220032                | -                        |
| m15      | 25.062095    | 28.893979                | 1.182244                | -                        |
| m16      | 26.252925    | 15.770034                | -2.111057               | -                        |
| m17      | 22.531324    | 0.003278                 | 1.881295                | -                        |
| m18      | 0.0000009397 | 0.296932                 | -0.000793 <sup>ns</sup> | -45.512047 <sup>ns</sup> |
| m19      | 23.816033    | 9989.305533              | 6.350940                | 0.132615                 |
| m20      | 21.928143    | 0.06737                  | 6.951959                | 0.893845                 |

Tüm parametreler  $p < 0.001$  ve ns=önemsiz olarak işaretlenmiştir.



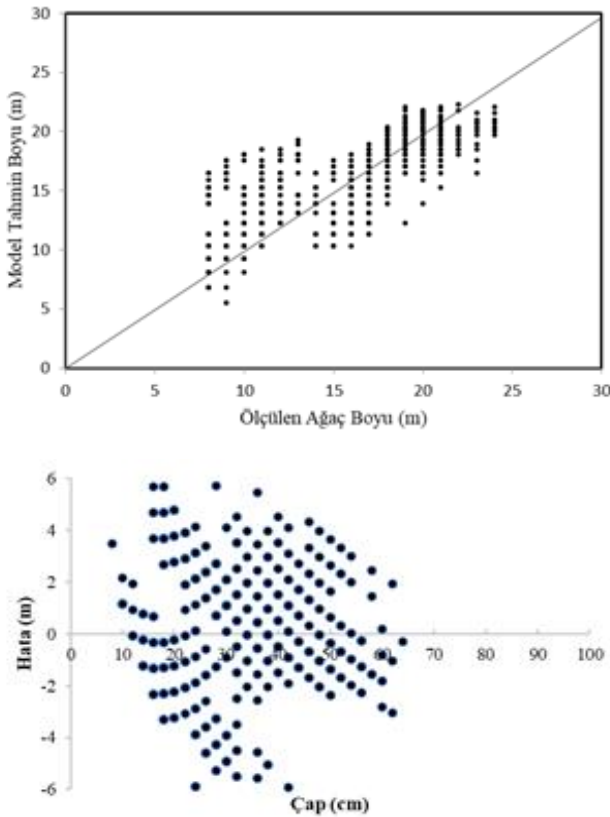
Çizelge 5. Geliştirilen h-d modellerine ilişkin ölçüt değerleri ve başarı sıralaması

| Model no  | Ölçütler           |                    |                    |                     |                    |              |              |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------|--------------|
|           | OMH                | MMH                | RMSE               | R <sup>2</sup>      | OH                 | AIC          | Toplam       |
| 1         | 1.84555 (11)       | 7.12363 (9)        | 2.32075 (10)       | 0,699749 (10)       | -0.01489(11)       | 1571.60 (11) | 62           |
| 2         | 1.97848 (17)       | 7.48406 (16)       | 2.41694 (17)       | 0,674337 (17)       | -0.02254(13)       | 1647.22 (17) | 97           |
| 3         | 1.85077 (12)       | 7.14354 (11)       | 2.34038 (14)       | 0,694639 (14)       | 0.27128 (20)       | 1587.29(14)  | 85           |
| 4         | 1.88952 (15)       | 7.45482 (15)       | 2.36192 (15)       | 0,68900 (15)        | 0.27012 (19)       | 1604.34(15)  | 82           |
| 5         | 1.99654 (18)       | 7.78486 (18)       | 2.43793 (18)       | 0,66865 (18)        | 0.26005 (16)       | 1663.32(18)  | 106          |
| 6         | 1.91060 (16)       | 7.53270 (17)       | 2.37503 (16)       | 0,685534 (16)       | 0.26372 (17)       | 1614.65(16)  | 98           |
| 7         | 1.85246 (13)       | 7.18573 (13)       | 2.34014 (13)       | 0,694706 (13)       | 0.27009 (18)       | 1587.10(13)  | 83           |
| <b>8</b>  | <b>1.79222 (5)</b> | <b>6.99470 (5)</b> | <b>2.30041 (3)</b> | <b>0,705146 (4)</b> | <b>-0.00292(8)</b> | 1557.21 (3)  | <b>28(5)</b> |
| 9         | 1.82736 (10)       | 7.18337 (12)       | 2.33116 (11)       | 0,697091 (11)       | -0.00801(10)       | 1582.26 (10) | 64           |
| 10        | 1.80114 (8)        | 7.05341 (7)        | 2.30753 (8)        | 0,703300 (7)        | -0.00249(6)        | 1562.96(7)   | 43           |
| 11        | 1.81119(9)         | 7.10211 (8)        | 2.31231 (9)        | 0,702076 (9)        | -0.00602 (9)       | 1566.81(9)   | 53           |
| 12        | 2.25887 (20)       | 11.32562 (19)      | 2.70764 (19)       | 0,591499 (20)       | 0.02054 (12)       | 1860.70(19)  | 109          |
| 13        | 1.85411 (14)       | 7.26155 (14)       | 2.33437 (12)       | 0,696374 (12)       | -0.00061 (2)       | 1584.49(12)  | 66           |
| 14        | 1.797442 (7)       | 7.12974 (10)       | 2.30792 (7)        | 0,703216 (8)        | 0.12768 (15)       | 1562.38(8)   | 55           |
| <b>15</b> | <b>1.78742 (1)</b> | <b>6.98722 (3)</b> | <b>2.29814 (1)</b> | <b>0,705718 (1)</b> | <b>0.00101 (3)</b> | 1555.37(1)   | <b>10(1)</b> |
| <b>16</b> | <b>1.78851 (3)</b> | <b>6.96953 (1)</b> | <b>2.29818 (2)</b> | <b>0,705718 (2)</b> | <b>0.00138 (5)</b> | 1555.40(2)   | <b>15(2)</b> |
| 17        | 1.79099(4)         | 7.01721 (6)        | 2.30128 (4)        | 0,704911 (5)        | -0.00250(7)        | 1557.91(4)   | 30           |
| 18        | 2.25483 (19)       | 11.48819 (20)      | 2.70826 (20)       | 0,591546 (19)       | -0.03517(14)       | 1863.12(20)  | 112          |
| <b>19</b> | <b>1.78846 (2)</b> | <b>6.99090 (4)</b> | <b>2.29993 (5)</b> | <b>0,705583 (3)</b> | <b>-0.00136(4)</b> | 1558.32(5)   | <b>23(3)</b> |
| <b>20</b> | <b>1.79752(6)</b>  | <b>6.98449(2)</b>  | <b>2.30365 (6)</b> | <b>0,704475 (6)</b> | <b>-0.00036(1)</b> | 1561.83 (6)  | <b>24(4)</b> |

OMH = Ortalama Mutlak Hata, MMH= Maksimum Mutlak Hata, RMSE= Hata kareleri ortalamasının karekökü, R<sup>2</sup>= Belirtme Katsayısı, OH= Ortalama Hata, AIC= Akaike Bilgi Kriteri

Çizelge 6. Test veri seti ile başarılı modellerin başarı ölçüt değerleri

| Model no | Ölçütler    |             |             |                |              |            |         |
|----------|-------------|-------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------|
|          | OMH         | MMH         | RMSE        | R <sup>2</sup> | OH           | AIC        | Toplam  |
| m15      | 2.03907 (3) | 8.80610 (3) | 2.75270 (4) | 0.594 (4)      | -0.17792 (2) | 915.30 (2) | 18(2)   |
| m16      | 2.04347 (4) | 8.78941 (1) | 2.75422 (5) | 0.593 (5)      | -0.17394 (1) | 915.79 (3) | 19(3.5) |
| m19      | 2.03657 (2) | 8.81855 (4) | 2.75199 (3) | 0.595(3)       | -0.18398(3)  | 917.07 (5) | 20(5)   |
| m20      | 2.04507 (5) | 8.80089 (2) | 2.75048 (2) | 0.596 (2)      | -0.18402 (4) | 916.58 (4) | 19(3.5) |
| m8       | 2.02761 (1) | 8.83807 (5) | 2.74138 (1) | 0.598 (1)      | -0.19791 (5) | 911.60 (1) | 14(1)   |



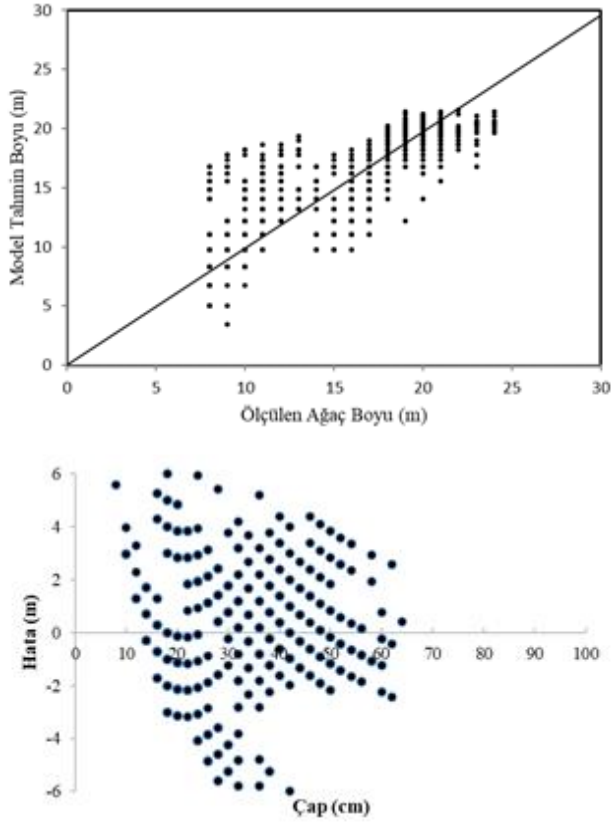
Şekil 3. Tahmin edilen boy (m1 nolu model) ile test grubu ölçülen boy değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları

### 3.1.2. Üç parametrelili çap-boy modelleri

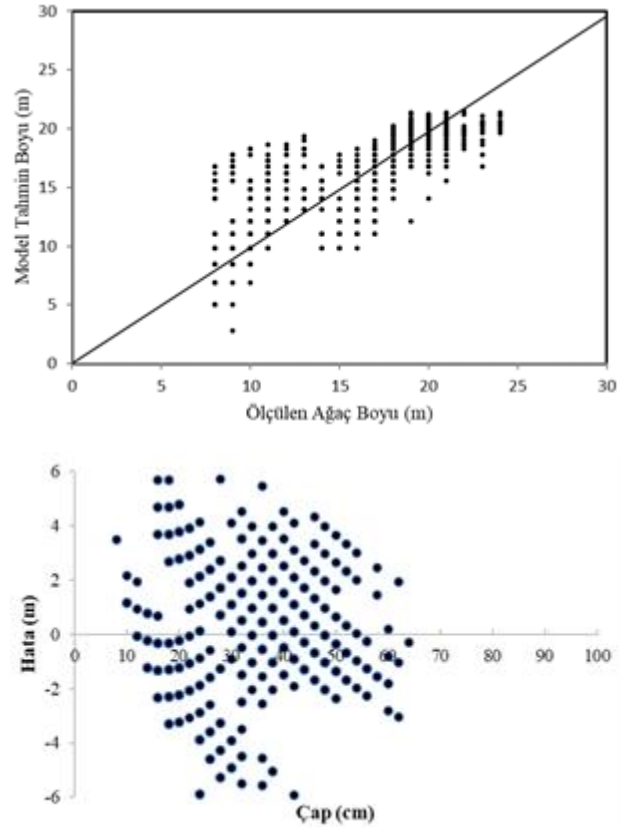
Çalışmamızda, m15 nolu modele (3 Parametrelili Seber-Wild (1989; Korf/Lundgvist model)), ait regresyon katsayıları kullanılarak test materyali üzerinde yapılan tahmin değerleri ile ölçülen gerçek boy değerleri bir dik koordinat sistemi üzerine noktalanmıştır (Şekil 4). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe artmaktadır. Hatalar m1 nolu modele göre daha küçüktür.

### 3.1.3. Dört parametrelili çap-boy modelleri

Alınan test materyali üzerinde m19 nolu modele (4 Parametrelili Zeide (1993; Exponential model)) ait regresyon katsayıları kullanılarak yapılan tahmin değerleri ile ölçülen gerçek değerler alındığı çapa karşılık olarak bir grafik üzerinde noktalanmıştır (Şekil 5). Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır. Hatalar m1 nolu modelden daha az olmakla beraber m15'ten bir miktar daha fazladır. OH değerleri m1, m15 ve m19 için sırasıyla -0.01489, +0.00101 ve -0.00136 olarak bulunmuştur (Çizelge 5).



Şekil 4. Başarılı bulunan m15 nolu h-d modelinin test materyali ile yapılan tahmini boy ile gerçek boy ölçüm değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları



Şekil 5. Başarılı bulunan m19 nolu h-d modeli ile tahmin edilen boy değerleri ile test değerleri arasındaki ilişki ve hata miktarları

4 parametre grubunda en başarılı olduğu tespit edilen m19 nolu (Zeide, 1993; Exponential model) çap- boy model için boy tahminindeki hataların tahmin edilen çap basamak orta değerlerine göre dağılımı verilmiştir. Şekil 5' ten izleneceği üzere parametre gruplarında (2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili) en başarılı modeller için elde edilen hata dağılımları da oldukça benzer dağılım göstermektedir.

Genel olarak hata miktarlarının başarılı olduğu tespit edilen modellerde, ölçülen boy değerlerinin artmasına bağlı olarak bir artış gösterdiği bazı çalışmalarda ortaya konulmuştur (Ahmadi vd., 2013; Özçelik ve Çapar, 2014). Fakat bu çalışmada çap artmasına bağlı olarak boyda hata miktarının azaldığı görülmüştür. Hata dağılımlarına ilişkin varyasyonun sabit olduğu da gözlenmiştir. Genel olarak bir modelin başarılı olup olmadığına karar verilirken hata miktarının küçük olmasının yanı sıra elde edilen hataların da belirli ve sabit bir varyansa sahip olması şartı da aranmaktadır. Bu bakımdan m15, m16, m19, m20 ve m8 başarılı sayılabilir.

Sonuç olarak, üç farklı parametre sayısına sahip olan tüm modeller (2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili modeller) için de nispeten benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tahmin edilen boy değerleri ile ölçülen boy değerlerinin örtüşme oranı boy değeri büyüdükçe bir miktar artmaktadır.

Modellerin parametre sayısına göre test edilen çap-boy modellerinin aritmetik ortalama başarı değerlendirilmesi yapıldığında sırasıyla 2 parametrelili, 3 parametrelili ve 4 parametrelili olanların sırasıyla 87.6, 47.3 ve 53 toplam sırasına sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5). Buradan da genel olarak 3 parametrelili modellerin çap- boy arasındaki ilişkiyi açıklamada diğer gruplara göre başarılı bulunmuştur. Söz konusu grubun tüm modeller içerisinde en iyi olarak belirlenen beş modelden ikisine (m15 ve m16) sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda değişik ormancılık bilim dallarında da çeşitli amaçlar için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

En başarılı h-d modelleri tüm örnek nokta verileriyle modellerin regresyon katsayıları hesaplanarak Çizelge 7'de verilmiştir. Bu parametreler ile Pamucak-Burdur yöresi orta veya normale yakın kapalı, doğal yoldan gelmiş, saf ve aynı yaşlı kızılçam meşcerelerinde göğüs çapı girilerek modelden tek ağaç boyu tahmin edilebilir.

Çizelge 7. Başarılı modellerin tüm veriler ile tahmin edilen parametre değerleri

| Model no | Parametreler |              |          |           |
|----------|--------------|--------------|----------|-----------|
|          | a            | b            | c        | d         |
| m15      | 28.980833    | 14.156454    | 0.892280 | -         |
| m16      | 27.877547    | 20.242614    | 1.544578 | -         |
| m19      | 27.266331    | 63452.049537 | 8.630854 | -0.085323 |
| m20      | 22.853227    | 0.055970     | 4.960831 | 0.902761  |
| m8       | 10.424120    | 0.565282     | 0.037670 | -         |

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, Burdur Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Pamucak Orman İşletme Şefliği içerisinde doğal yoldan gelmiş, saf ve aynı yaşlı kızılçam meşcerelerinde, göğüs çapından yararlanılarak tek ağaç boyunun tahmin edilmesinde kullanılan literatürdeki önemli modeller test edilmiştir. Bu amaçla istatistiksel analiz yöntemlerinden regresyon analizi ile tek ağaç boy tahminleri ve tahminlerinin değişiminin grafiksel incelenmesi yapılmıştır.

Modellerin hata dağılım grafikleri, hata dağılımının küçük çap değerleri için oldukça heterojen olduğunu ancak artan çap değerleri için homojen olduğunu ortaya koymaktadır.

En başarılı h-d modelleri sırasıyla m15, m16 ve m19 olmuştur. Modellerin parametre sayısına göre değerlendirilmesi sonucunda, genel olarak 3 parametrelilik modellerin çap-boy ilişkisini açıklamada yeterli olduğu ve en iyi performansa sahip olan beş modelden üçünün (m15, m16 ve m8) bu kategoriye girdiği ve çeşitli ormancılık bilim dallarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yöredeki örnek noktalardan elde edilen verilerle tek ağaç boyunun yaklaşık %70'i (m15 için hesaplanan  $R^2=0.7056$ ) sadece göğüs çapı değişkeni tarafından açıklanmaktadır. Geriye kalan %30'luk açıklanamayan kısım ise modelde yer almayan önemli ve kontrol edilemeyen rastgele değişkenlerden kaynaklanmaktadır.

Çalışma sonuçları ışığında, araştırmacı ve uygulamacılara şu önerilerde bulunulabilir:

Pamucak Orman İşletme Şefliği sınırları içinde bulunan doğal kızılçam meşcerelerinde çeşitli yaş, bonitet sınıfı ve orta ve normal kapalılıkta için tek ağaç boyunun tahmin edilebilir. Bu modeller, orman amenajmanı planı ve silvikültürel amaçlı uygulamalarda çeşitli amaçlar için güvenle kullanılabilir.

Bu çalışmanın verileri geçici örnek noktalardan elde edilmiştir. Farklı yaş, yetiştirme ortamı ve sıklıktaki meşcerelerde kurulacak sabit deneme alanları ve periyodik ölçümlerle tek ağaç boyu daha doğru bir şekilde belirlenebilir.

#### Kaynaklar

- Alkan, O., Koparan, B., 2023. Sustainable forestry: a comprehensive review of Türkiye's national forest inventory and monitoring strategies (Ed., Bozdoğan, N.Y., Bozdoğan A.M), Platanus Publishing, Ankara, pp. 273-284.
- Ahmadi, K., Alavi, S.J., Kouchaksarai, M.T., Aestern, W., 2013. Non-linear height-diameter model for Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian Forests, Iran. Biotechnology Agronomy Society and Environment. 17(3): 431-440.
- Arabatzis, A.A., Burkhart, H.E., 1992. An evaluation of sampling methods and model forms estimating height-diameter relationships in Loblolly pine plantations. Forest Science, 38: 192-198.
- Bolat, F., Ülker, 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.
- Carus, S., 1998. Aynı yaşlı doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) ormanlarında artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Carus, S., Akguş, Y., 2018. Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Türkiye Ormancılık Dergisi, 19(1): 1-8.

- Castedo Dorado, F., Dieguez-Aranda, U., Barrio Anta, M., Sanchez Rodriguez, M., Gadow, K., 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 229: 202-213.
- Colbert, K.C., Larsen, D.R., Lootens, J.R., 2002. Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. Northern Journal of Applied Forestry, 19(4): 171-176.
- Curtis, R.O., 1967. Height-diameter and height-diameter age equations for second growth Douglas-fir. Forest Science, 13: 365-375.
- 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.
- Çepel, N., 1984. Ekosistem kavramı ve ekosistem amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 34(2): 23-32.
- Diamantopoulou, M.J., Özçelik, R., 2012. Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in mediterranean region of Turkey. Forest Systems, 21(3): 383-397.
- 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: 228-241. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3081>
- Ercanlı, İ., Kahriman, A., Yavuz, H., 2012. Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü doğu ladini-sarıçam karışık meşcereleri için karışık etkili doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile doğu ladini çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13: 75-84.
- Göçer, N., 2016. Batı Akdeniz yöresi doğal Toros sediri meşcereleri için karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Huang, S., Titus, S.J., Wiens, D.P., 1992. Comparison of nonlinear height-diameter functions for major Alberta tree species. Canadian Journal of Forest Research, 22: 1297-1304.
- Kalipsız, A., 1982. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Yayınları, Gençlik Basımevi, İstanbul.
- Kalipsız, A., Eler, Ü., 1984. Lübnan sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ağaçlarının gelişmesi üzerine örnekler. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 34(2): 1-17.
- Koparan, B., 2023. Ecosystem dynamics and resource assessment: the role of aboveground biomass estimation in forests (Ed., Bozdoğan, N.Y., Bozdoğan A.M.), Platanus Publishing, Ankara, pp. 257-272.
- Larsen, D.R., Hann, D.W., 1987. Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Technical Report, USA.
- Meyer, H.A., 1940. A mathematical expression for height curves. Journal of Forestry, 38: 415-420.
- Mısır, N., 2010. Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. stands. African Journal of Biotechnology, 92(8): 4348-4355.
- Özçelik, R., Çapar, C., 2014. Antalya yöresi doğal kızılçam meşcereleri için geliştirilmiş çap-boy modellerinin geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 15(1): 44-52.
- Pearl, R., Reed, L.J., 1920. On the rate growth of the population of United States since 1790 and its mathematical representation. Proc. National Academic Science USA, 6: 275-288.
- Prodan, M., 1968. Forest Biometrics, English ed. Pregamon Press, Oxford.
- Ratkowsky, D. A., 1990. Handbook of Nonlinear Regression. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Ratkowsky, D. A., Reedy, T.J., 1986. Choosing near-linear parameters in the four-parameter logistic model for radioligand and related assays. Biometrics, 42: 575-582.

- Richards, E.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Biology*, 10: 290- 300.
- Seber, G.A.E., Wild, C.J., 1989. *Nonlinear Regression*. John Wiley, New York.
- Sibbsen, E., 1981. Some new equations to describe phosphate sorption by soils. *Journal of Soil Science*, 32: 62-74.
- Winsor, C.P., 1932. The gomperts curve as a growth curve. *Proc. National Academic Science USA*, 18:1-7
- 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. Yang, R.C., Kozak, A., Smith, J.H.G., 1978, The potential of weibull-type functions as a flexible growth curve. *Canadian Journal of Forest Research*, 8:424-431
- Zeide, B., 1993. Analysis of growth equations. *Forest Science*, 39: 594-616.

## Yaban hayatı araç çarpışmalarının zamansal ve mekânsal analizi: Ankara-Çankırı Karayolu

Ali Uğur Özcan<sup>a,b</sup>, İbrahim Aytaş<sup>a,\*</sup>, Semih Kuter<sup>c</sup>

**Özet:** Ulaşım ağları habitatları parçalayarak yaban hayvanları üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu etkilerden belki de en önemlisi yaban hayatı araç çarpışmalarıdır (YHAÇ). YHAÇ'ndan sadece yaban hayvanları etkilenmez aynı zamanda insanlara da maddi ve manevi etkilere sahiptir. Bu çalışma ile Ankara-Çankırı Karayolu'nun 50 kilometrelik kısmında; *i*) YHAÇ sonucu meydana gelen kazaların yerlerinin belirlenmesi, *ii*) sıcak noktaların tanımlanması hedeflenmiştir. Bu amaç için haftada bir kez YHAÇ verileri toplanmıştır. YHAÇ yerlerine ait sıcak noktaları için CrimeStat3 yazılımı ile nüve yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. YHAÇ sonucunda 10 türden, 114 adet orta ve büyük memeli kaydedilmiştir. En fazla ölen türler, kirpi (*Erinaceus concolor* Martin, 1838) ( $n = 43$ ), tilki (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) ( $n = 34$ ) ve sansar (*Martes foina* Erxleben, 1777) ( $n = 18$ ) olmuştur. Yaban hayatı araç çarpışmaları sıcak noktalar haritasında beş adet çok yüksek, bir adet yüksek ve iki adet de orta yoğunlukta kümelenme meydana gelmiştir. Çalışmanın sonuçları biyolojik çeşitliliğin korunmasına ve YHAÇ'nin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Yaban hayatı araç çarpışmalarının konumunun, zamanının ve sıklığının bilinmesi, çarpışmaların azaltılması için ulaşım planlamalarının yapılmasında önem arz etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Ankara-Çankırı Karayolu, Nüve yoğunluk kestirimi, Memeli, Sıcak nokta, Yaban hayatı

## Temporal and spatial analysis of wildlife vehicle collisions: Ankara-Çankırı Highway

**Abstract:** Transportation networks disrupt habitats and cause adverse effects on wildlife. Perhaps the most important of these effects is wildlife vehicle collisions (WVC). WVC not only harms wildlife, but also has economically and mortal effects on humans. With this study, in the 50-kilometer section of the Ankara-Çankırı Highway, it was aimed to *i*) identify the locations of the WVC events, *ii*) identify the hotspots. For this purpose, roadkill data was collected once a week. The hotspots of WVC sites were generated by CrimeStat3 software. A total of 114 medium and large mammal wild animals were recorded from 10 species that died because of WVC. The species that died the most were hedgehog (*Erinaceus concolor* Martin, 1838) ( $n = 43$ ), fox (*Vulpes vulpes* Linnaeus, 1758) ( $n = 34$ ) and marten (*Martes foina* Erxleben, 1777) ( $n = 18$ ). In the WVC hotspots map, five very high, one high and two medium intensity clusters occurred. The results of the study will contribute to the protection of biodiversity and the reduction of WVC. Determining the spatial, temporal and frequency of WVC is important in making transportation plans to reduce collisions.

**Keywords:** Ankara-Çankırı Highway, Kernel density estimation, Mammal, Hotspot, Wildlife

### 1. Giriş

Ulaşım ağları; yaban hayatı araç çarpışmaları (YHAÇ) (Özcan, 2018), habitat tahribatının (Gülçin, 2020; Gülçin ve Yılmaz, 2020) ve kaçak avlanma oranlarının artması (Coffin, 2007), bariyer etkisi sonucu bazı türlerin hareketlerinin kısıtlanması (Barrientos vd., 2019), demografideki değişimler (Hostetler vd., 2009), genetik çeşitliliğin azalması veya değişimi (Balkenhol ve Waits, 2009; Jackson ve Fahrig, 2011) gibi olumsuz etkilere sahiptir. İnsanlığın birçok alanda gelişmesi, dünya yüzeyinde yaklaşık 64 milyon km uzunluğunda asfaltlı ve asfaltsız yolun olduğu bir yol ağının oluşmasına neden olmuştur (CIA, 2019). Bununla birlikte, yıllık araç üretimi

2000 yılında yaklaşık 58 milyon iken, 20 yıllık sürede neredeyse iki katına çıkarak 100 milyona ulaşmıştır (Placek, 2024). Buna bağlı olarak, son yirmi yılda YHAÇ kaynaklı ölüm oranı artmıştır (Hill vd., 2020). Hatta dünyadaki memeli ölümlerinin yaklaşık olarak %5'inin doğrudan sorumlusu araç çarpışmalarıdır (Hill vd., 2019).

Son yıllarda, yol güvenliğinin giderek tehlikeye girmesi nedeniyle insan-yaban hayatı çatışmaları bir hayli hız kazanmıştır. Örneğin, Avrupa ve ABD'de geyik-arac çarpışmalarının yılda yaklaşık 2 milyon olduğu ve bu vakalarda yılda 200'den fazla insanın yaşamını yitirdiği ve 30.000'den fazla yaralanma vakasının meydana geldiği tahmin edilmektedir. Her yıl Avrupa yollarında yaklaşık 194 milyon kuş ve 29 milyon memelinin öldüğü kayıtlar

✉ <sup>a</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 18200, Çankırı

<sup>b</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yaban Hayatı ABD, 18200, Çankırı

<sup>c</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, 18200, Çankırı

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): aytasibrahim@karatekin.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.04.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 18.07.2024



**Citation** (Atıf): Özcan, A.U., Aytaş, İ., Kuter, S., 2024. Yaban hayatı araç çarpışmalarının zamansal ve mekânsal analizi: Ankara-Çankırı Karayolu. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 275-282.

DOI: [10.18182/tjf.1475350](https://doi.org/10.18182/tjf.1475350)

arasındadır (Bissonette vd., 2008; Langbein vd., 2011; Grilo vd., 2020). Son yıllarda, dünyada YHAÇ sıcak noktaları hakkında çok sayıda araştırma (Chen vd., 2019; Shilling vd., 2021; Valerio vd., 2021; Galinskaitė vd., 2022; Laube vd., 2023) gerçekleştirilmiştir. Türkiye’de ise YHAÇ hakkında sınırlı sayıda çalışma (Tok vd., 2011; Arpacık vd., 2016; Özcan ve Özkazanç, 2017; Toyran vd., 2018; Bülbül vd., 2019; Özcan ve Özkazanç, 2020; Bülbül ve Koç Gür, 2022; Özcan vd., 2022; Dursun vd., 2023) bulunmaktadır. Arpacık vd. (2016), Kastamonu Azdavay Kartdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası’nda 18 memeli türün yanında birçok kuş, sürüngen ve amfibi türünün YHAÇ nedeniyle öldüğünü veya yaralandığını belirlemiştir. Özcan (2018), Kırıkkale-Çankırı Karayolu’nda ve özellikle Nisan, Mayıs, Temmuz ve Ağustos aylarında daha sık olmak üzere, 9 orta ve büyük memeli yaban hayvanı türünden 389 adet ölümlü kaza vakası tespit etmiştir. Bu çalışmada en fazla kazayla karşılaşan türler; tilki (*Vulpes vulpes*), kirpi (*Erinaceus concolor*) ve kaya sansarı (*Martes foina*) olmuştur. Yine, Van Gölü çevresindeki Karayolu’nda sekiz memeli türü arasında bu üç tür en çok kaza sonucu ölmüştür (Toyran vd., 2018). Türkiye’deki farklı karayolları üzerindeki birçok noktada sürüngen ve amfibi türlerden çok sayıdaki ölümlü vaka kaydedilmiştir (Tok vd., 2011; Bülbül vd., 2019; Bülbül ve Koç Gür, 2022; Dursun vd., 2023).

YHAÇ sıcak noktaları dünyada kazaların azaltılmasında kullanılan en önemli mekânsal analizlerin başında gelmektedir (Gomes vd., 2009; Danks ve Porter, 2010; Gunson ve Teixeira, 2015; Shilling ve Waetjen, 2015; Bil ve Andrášik, 2020; Fedorca vd., 2021; Özcan vd., 2022). Sıcak noktaları doğru bir şekilde tasvir etmek, yaban hayatı araştırmaları için önemlidir çünkü bu noktalar genellikle yaban hayatı popülasyonlarını etkileyen süreçlerin bir göstergesidir (Snow vd., 2014; Tuttu vd., 2024). Birçok araştırma omurgalı türlerin çoğunda YHAÇ vakalarının rastgele gerçekleşmediğini ve kümelenme eğiliminde olduğunu göstermektedir (Clevenger vd., 2003; Ramp vd., 2006; Özcan vd., 2022). Bu tür vaka tespitleri YHAÇ sıcak noktalarının türler için önemini ortaya koymaktadır. Sıcak noktalar, yol ölümlerindeki istatistiksel ilişkileri anlama açısından önemli bir araç olabilir ve ölümlerin azaltılmasına yardımcı olabilir (Cain vd., 2003; Ramp vd., 2005; Gomes vd., 2009). Ayrıca sıcak noktalar, yaban hayvanlarının geçişlerinde uzun vadeli yapısal önlemlere tabi olmalıdır (Ascensão vd., 2013; Grilo vd., 2015). Vatandaş bilimi (vaka kayıtlarını halkın yerinde toplaması) de YHAÇ’nın geniş alanlarda izlenmesine ve sıcak noktaların belirlenmesine yardımcı olabilmektedir (Valerio vd., 2021).

Ankara-Çankırı Karayolu’nun 50 kilometrelik kısmında gerçekleşen ve 2021-2022 yıllarını kapsayan çalışmada; *i*) YHAÇ’nın meydana geldiği noktaların tespit edilmesi, *ii*) kazaya karışan orta ve büyük memeli türlerin belirlenmesi, *iii*) zamansal analizi ve *iv*) YHAÇ sıcak noktalarının mekânsal dağılımının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu çalışma, aynı zamanda Ankara-Kırıkkale-Çankırı Karayollarında 2014 yılından beri yürütülen izleme çalışmalarının (Özcan ve Özkazanç, 2017; Özcan, 2018; Özcan ve Özkazanç, 2020; Özcan vd., 2022) devamı niteliğinde olması nedeniyle ayrıca önem arz etmektedir. Çalışmadan elde edilecek olan sonuçlar, yaban hayatı araç çarpışmalarının azaltılması için ulaşım ağı planlamacılarının ve koruma uzmanlara katkı sağlayacaktır.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

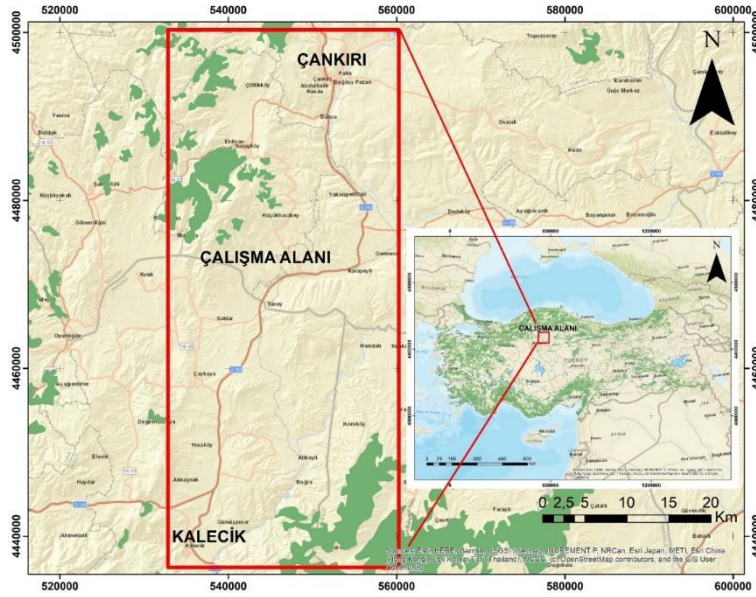
Çalışma alanı, Ankara-Çankırı Karayolu’nun Çankırı Merkez ile Kalecik Yol ayrımı arasında kalan yaklaşık olarak 50 kilometrelik kısmını içermektedir (Şekil 1). Yol hattının bulunduğu arazi engebeli bir topografya oluşturmakta olup, yükseltisi 656-1.371 m (ort. 894 m) arasındadır. Bölgenin arazi kullanımı antropojenik etkilere maruz kalmış ve yoğunluk yerleşim ve tarım alanlarından oluşmaktadır. Bazı yerlerde meraların hâkimiyeti bulunmaktadır. Çalışma alanı, önemli yaban hayatı alanlarını oluşturan Eldivan ile İdris Dağı gibi iki önemli dağ sığınağının ortasından geçmektedir. Bu iki dağ sığınağı doğal ormanları ve yaşam alanlarını barındırmaktadır. Ankara-Çankırı Karayolu’nda otomobiller için hız sınırı 110 km/saat iken ağır tonajlı araçlar için 90 km/saat’tir. KGM tarafından düzenli olarak toplanan trafik yoğunluğu verilerine göre; çalışma süresi boyunca Ankara-Çankırı Karayolu’nda trafik yoğunluğu 2021 yılı için 8.565 araç/gün (std. sp. 2.537) olmuştur. Trafik yoğunluğunun 2021 yılı için en yüksek olduğu ay Temmuz (ortalama 13.657 araç/gün), en düşük ise Ocak ayıdır (5.115 araç/gün). En düşük trafik yoğunluğu gece saat 03.00 ile 04.00 arasında (yıl ortalaması; 41 araç/gün, kışın 19 araç/gün), en yüksek trafik yoğunluğu ise akşam saat 18.00 ile 19.00 arasında (ortalama 627 araç/gün) gerçekleşmiştir. Saatlik bazda en yüksek trafik yoğunluğu Temmuz ayında 973 araç/gün ile akşam 19.00 ile 21.00 saatleri arasında olmuştur.

### 2.2. Arazi çalışması

Çalışma alanında araç çarpması veya ezilmesi ölen yaban hayvanlarına ait veriler toplanmıştır. Kayıtlar, haftada ortalama bir gün ve sabah gün aydınlanma vaktinde toplanmıştır. Arazi çalışması sırasında öncelikli olarak iş güvenliği sağlanmış herhangi bir kazaya yol açmamak için trafik kurallarına tam uyum sağlanmıştır. Tehlike arz etmemesi için tüm işlemler yol kenarında gerçekleştirilmiştir. Kaza nokta koordinatları (UTM/WGS84) 5 m hassasiyetle toplanmıştır. Çarpışmanın olduğu alanı kapsayacak şekilde fotoğraflar çekilmiştir.

### 2.3. Zamansal analizler

YHAÇ’nın 2021-2022 yılları arasındaki zamansal eğilimlerini ortaya koymak amacıyla yıllık ve aylık dağılımdaki farklılıklar analiz edilmiştir. Çalışma süresince 10 yaban hayvanı türü kazaya karışmasına rağmen bu türlerden yedisinde, beş bireyden daha az veri elde edilmiştir. Dolayısıyla değerlendirmeler kirpi, sansar ve tilki ( $N = 96$ ) ölümleri üzerinden yapılmıştır. Varsayım, bu üç türün ölümleri arasında zamansal farklılığın olup olmadığı üzerine kurulmuştur. Analiz için normallik testi ve parametrik olmayan Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı

#### 2.4. Konumsal analizler

Nüve Yoğunluk Kestirimi (NYK) yöntemi (Kernel Density Estimation)'nin temel mantığı, altta yatan bilinmeyen yoğunluk fonksiyonunun parametrik olmayan tahmini yoluyla bir yüzey oluşturulmasıdır. Bu iki boyutlu veri de enlem ve boylam değerlerine sahip nokta verisine karşılık gelmektedir. Bunun için, gözlemlenen her nokta üzerine iki değişkenli olasılık yoğunluk fonksiyonu yerleştirilir ve çalışma sahası üzerine çakıştırılan coğrafi ızgaranın her kesişim noktasında yoğunluk hesaplanır.

Nüve yoğunluk kestirimi Eşitlik [1]'e kullanılarak hesaplanmaktadır (Silverman, 1986; Seaman ve Powell, 1996).

$$\hat{f}(x, h) = \left[ \frac{1}{nh^2} \right] \sum_{i=1}^n K \left( \frac{x - X_i}{h} \right) \quad (1)$$

Eşitlik [1]'de  $n$ , incelenen noktaların sayısı;  $h$ , bant genişliği;  $K$ , Kernel fonksiyonu;  $x$ , fonksiyonun hesaplandığı lokasyonun  $x, y$  koordinatlarının vektörü;  $X_i$ , her bir gözlem noktasının tanımlandığı koordinatların vektörüdür.

Bütün ölüm olayları yol platformunda bir çizgi oluşturacak şekilde meydana geldiği için yolağı (network) mesafesi kullanılarak hesap edilmiştir (Gomes vd., 2009). Analizler için Crimstat III konumsal istatistik programı kullanılmıştır (Levine, 2006). Gomes vd. (2009)  $K$  fonksiyonunu hesaplaması Ripley's  $K$ -fonksiyon ve  $K$  fonksiyon ağı (Okabe ve Yamada, 2001) kullanılarak yapılmıştır. Haritalar, ArcGIS Kernel Density Tools ile elde edilmiştir. Bazı çalışmalarda farklı bant genişlikleri kullanılmıştır. Örneğin Ramp vd. (2005), Gomes vd. (2009) 500 metre, Ramp vd. (2006) 300 metre, Özcan ve Özkazanç (2017), Özcan vd. (2022) 750 metre olarak almıştır. Çalışma için farklı bant genişlikleri ile (250 m, 500 m, 750 m, 1.000 m, 1.250 m, 1.500 m, 2.000 m, 3.000 m) görsel değerlendirme yolu kullanılarak uygun bant genişliği seçilmiştir. Çalışmanın tamamı için sıcak alanlar belirlenmiştir. Ayrıca en fazla kazaya maruz kalan kirpi,

tilki ve sansar için üç farklı sıcak nokta analizi gerçekleştirilmiştir.

#### 3. Bulgular

Çalışma süresi olan Ocak 2021-Aralık 2022 (Proje başlangıcı Ocak 2020) tarihleri arasında trafik kazası sonucu ölen 10 türden toplam 114 adet orta ve büyük memeli yabani hayvan kaydedilmiştir (Çizelge 1 ve Şekil 2a). Bu kazaların 50 adedi birinci çalışma yılında ve 64 adedi ise ikinci çalışma yılında gerçekleşmiştir. En fazla ölüm toplamda 43 adet ile kirpi türünde (*Erinaceus concolor*) olmuştur (Şekil 2b). Kaza sonucu ölümlerde, kirpiyi sırasıyla tilki (*Vulpes vulpes*) ( $n = 34$ ) (Şekil 2c), sansar (*Martes foina*) ( $n = 18$ ) (Şekil 2d), tavşan (*Lepus europaeus*) ( $n = 5$ ) türleri takip etmiştir. Özcan ve Özkazanç (2017) ve Özcan (2018) tarafından 2014-2018 yılları arasında Çankırı-Kırıkkale Karayolu'nda çalışma alanını da kapsayacak şekilde YHAÇ izlenmiştir. Özcan (2018), Kalecik yol ayırımından Çankırı il merkezine kadar olan kısımda 9 türe ait 297 YHAÇ raporlamıştır. Bu çalışmada ise 10 türe ait 114 YHAÇ tespit edilmiştir. Alacasansar (*Vormela peregusna*) ve çakal (*Canis aureus*) projeye bölgede ilk defa kayda geçirilmiştir.

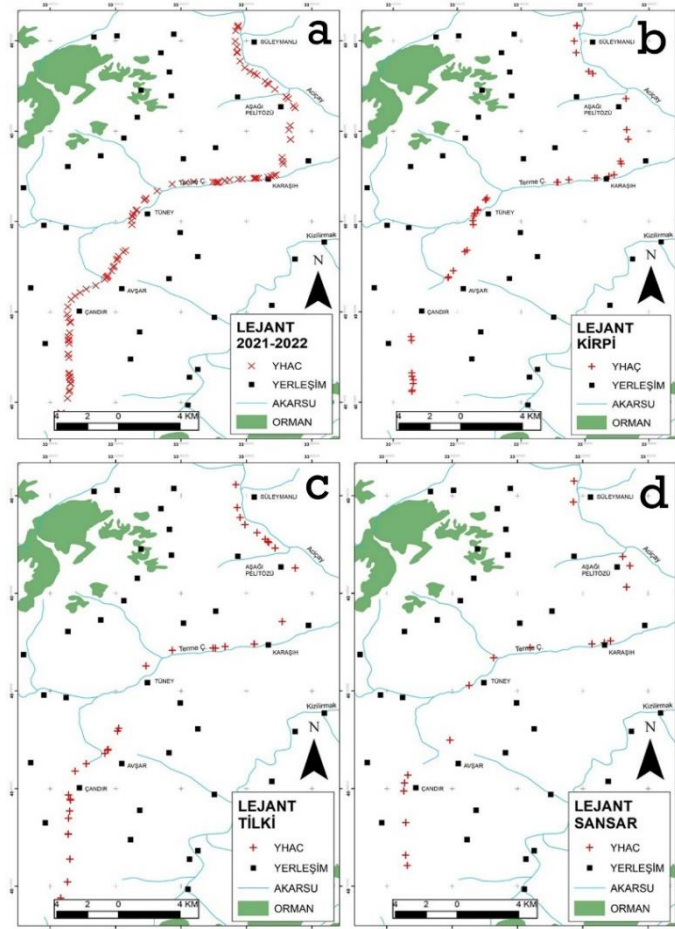
Proje süresince çalışma alanında 111 olayda (beş yaban domuzu aynı kazada ölmüştür) 10 türe ait 114 adet yaban hayvanı kayıt altına alınmıştır. Kazaların 50 adedi 2021 yılı ve 64 adedi 2022 yılında gerçekleşmiştir. En fazla kaza 29 adet ile Temmuz ayında en az kaza 1 adet ile Ocak ayında gerçekleşmiştir. Kazaların yaklaşık olarak %70'i Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında meydana gelmiştir. En fazla kazaya karışma vakası altı tür ile Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Kazaya en çok karışan üç türün aylık bazda zamansal bir farklılığının olup olmadığı test edilmiştir. Değerler hem homojen dağılmadığı hem de normal dağılmadığı için parametrik olmayan Kruskal-Wallis testi yapılmıştır. Kruskal-Wallis testine göre Ki kare sonucu 5,596 ve anlamlılık 0,061 ( $p > 0,05$ ) bulunmuştur. Bu sonuca göre, bu üç gruptan hiçbiri bir şekilde diğer türler ile farklılaşmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, bu üç türe ait

YHAÇ arasında zamansal olarak herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Bütün YHAÇ (Bütün, kirpi, sansar ve tilki için ayrı ayrı) K fonksiyonunu normal (gaussion) fonksiyon olarak CrimeStat III programı ile elde edilmiş, ArcGIS yazılımı kullanılarak haritaları hazırlanmış ve analiz edilmiştir. Çalışma alanında YHAÇ'nın rastgele olmasına rağmen kümelenmeler oluşturduğu görülmektedir. Bütün YHAÇ içeren sıcak noktalar haritasında başka bir deyişle çekirdek yoğunluk tahmini haritasında (ÇYT) beş adet çok yüksek yoğunlukta, bir adet yüksek yoğunlukta ve iki adet de orta yoğunlukta kümelenme meydana gelmektedir (Şekil 3a). Çok yüksek yoğunlukta kümelenmelerin üç tanesi Terme Çayı'na paralellik oluştururken bir tanesi Çandır Köyü civarındaki Avukatözü Deresi'nde yer almıştır.

Analizi yapılan kirpi türü için yoğunluk haritası toplam 34 vakayı içermekte olup (Şekil 3b) bir adet çok yüksek, iki adet yüksek ve bir adet de orta yoğunluğa sahip YHAÇ sıcak alanı bulunmaktadır. YHAÇ olaylarında çalışma alanının kuzey bölgesi dışında kalan lokasyonlarda ciddi bir artış yaşanmıştır. Sansar türü için toplam 18 adet vaka meydana gelmiş ve iki çok yüksek ve iki yüksek YHAÇ sıcak alanı oluşmuştur (Şekil 3c). Tilki türü için toplam 35 adet vaka tespit edilirken, iki çok yüksek ve iki yüksek YHAÇ sıcak alanı oluşmuştur (Şekil 3d). Bu olaylar genellikle çalışma alanının tüm kısımlarında neredeyse homojen bir dağılıma sahip olup, orta bölgelerde küçük bir yoğunlaşma gözlemlenmektedir.

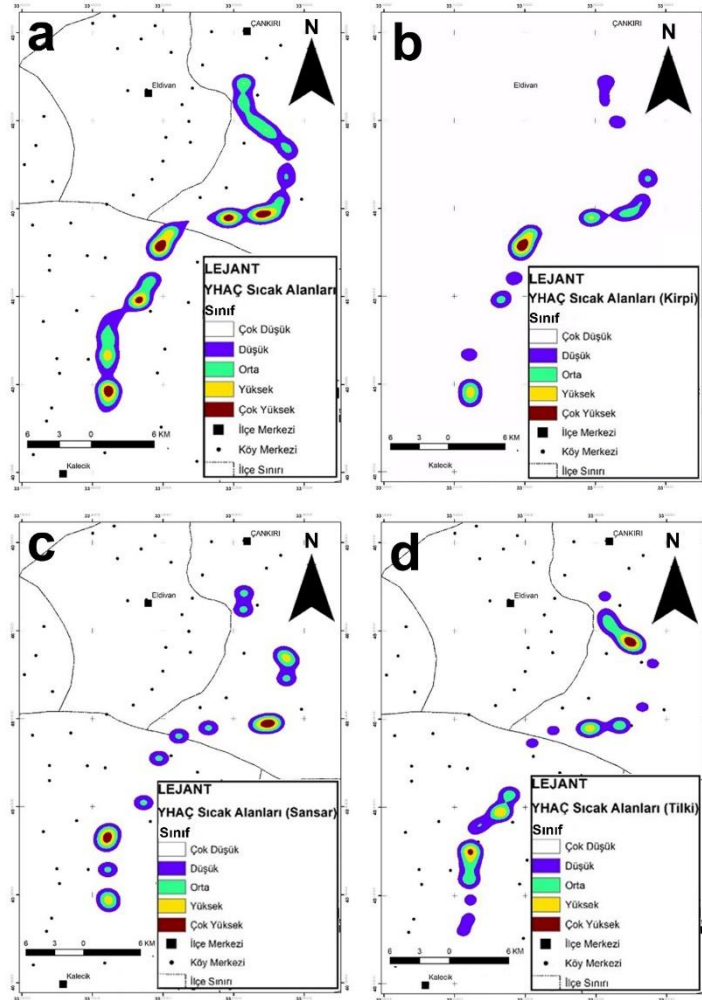
Çizelge 1. Proje süresi boyunca kaydedilen yaban hayvanı tür ve sayıları

| Tür           | IUCN | 01/2021-01/2022 |            | 01/2022-01/2023 |            | Toplam     |            |
|---------------|------|-----------------|------------|-----------------|------------|------------|------------|
|               |      | Adet            | %          | Adet            | %          | Adet       | %          |
| Alaca Sansar  | VU   | 2               | 3,92       | 0               | 0          | 2          | 1,74       |
| Çakal         | LC   | 0               | 0          | 2               | 3,13       | 2          | 1,74       |
| Gelincik      | LC   | 1               | 1,96       | 0               | 0          | 1          | 0,87       |
| Kirpi         | LC   | 17              | 33,33      | 26              | 40,63      | 43         | 37,39      |
| Kurt          | LC   | 1               | 1,96       | 2               | 3,13       | 3          | 2,61       |
| Porsuk        | LC   | 0               | 0          | 1               | 1,56       | 1          | 0,87       |
| Sansar        | LC   | 9               | 19,61      | 9               | 14,06      | 18         | 16,52      |
| Tavşan        | LC   | 4               | 7,84       | 1               | 1,56       | 5          | 4,35       |
| Tilki         | LC   | 16              | 31,37      | 18              | 28,13      | 34         | 29,57      |
| Y. Domuzu     | LC   | 0               | 0          | 5               | 7,81       | 5          | 4,35       |
| <b>Toplam</b> |      | <b>50</b>       | <b>100</b> | <b>64</b>       | <b>100</b> | <b>114</b> | <b>100</b> |



Şekil 2. a) Bütün YHAÇ vaka kayıtları, b) Kirpi YHAÇ vaka kayıtları, c) Tilki YHAÇ vaka kayıtları, d) Sansar YHAÇ vaka kayıtları





Şekil 3. a) Bütün YHAÇ sıcak alanları ÇYT, b) Kirpi YHAÇ sıcak alanları ÇYT, c) Sansar YHAÇ sıcak alanları ÇYT, d) Tilki YHAÇ sıcak alanları ÇYT

#### 4. Tartışma ve sonuç

Ankara-Çankırı Karayolu'nun Kalecik yol ayrımından başlayıp Çankırı il girişine kadar olan kısmında orta-büyük memeliler ile araç çarpışmalarının mevcut durumunun ortaya konulması ve YHAÇ sıcak alanlarının belirlenmesi üzerine kaza verileri toplanmıştır. Araştırma süresi iki yılı kapsamıştır. Çalışmanın 2020-2022 yıllarında yapılması hedeflenmiştir. Fakat risk olarak tahmin edilemeyen COVID-19 salgını sebebiyle bu periyotta arazi çalışması yapılamamıştır. Ankara-Çankırı Karayolu'nda 2019-2020 yılları hariç 2014 yılından 2023 yılına kadar YHAÇ verileri toplanmıştır. Bu yönüyle çalışma, Türkiye'nin YHAÇ için en uzun ve biyolojik çeşitlilik, varlık-yokluk gibi yaban hayatı izlemeleri arasında ise uzun sayılabilecek bir zamanı kapsamaktadır. Ramp vd. (2006), uzun periyotta verilerin toplanmasının sezonsal durumlar ve beslenme olayları ile hayvan davranışlarındaki değişiklikleri tespit edebilmek ve uzun dönem varyasyonunu ölçebilmek için oldukça ideal olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte uzun dönem çalışmalarını popülasyondaki dalgalanmalar hakkında da katkı sağlayabilir.

YHAÇ üzerine yapılacak olan çalışmaların daha uzun dönemleri kapsamaları doğru kararların alınabilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu sayede hem kazaların sebepleri daha iyi anlaşılırken hem de popülasyonlardaki

dalgalanmalar ve bunların kazalara yansımaları daha iyi tespit edilebilir.

Çalışma alanında 2021-2022 yılları arasında Ankara-Çankırı Karayolu'nun Kalecik yol ayrımından Çankırı il girişine kadar olan kesimde toplam 114 yaban hayvanı araç çarpması sonucunda ölmüştür. Bu kazalardan sadece birinde aynı anda beş yaban domuzu ölmüştür. Kazaların 50 adedi 2021 yılında ve 64 adedi 2022 yılında gerçekleşmiştir. YHAÇ sonucu ölen 114 yaban hayvanı 10 türden oluşmaktadır. Uzun izleme süresi boyunca (2014'ten başlayarak) toplam tür sayısı 11'e ulaşmıştır. Bu türlerden sadece Arap tavşanı (*Allactaga williamsi* Thomas, 1897) 2021-2022 yılları arasında kaydedilememiştir. Buna karşılık 2021 yılında iki adet alacasansar ve 2022 yılında iki adet çakal ilk defa kayıt altına alınmıştır. 2019 yılında Ankara-Çankırı Karayolu'nun Akyurt ilçesi Eskiköy Mevkii'nde (40°8'40.74"K, 33°17'19.22"D) ilk defa çakal ezilmesi gerçekleştiğinden sonra son üç yılda bu sayı altıya ulaşmıştır. Yine aynı yolda Kızılıköy yol ayrımına (çalışma alanına 10km mesafede) yakın bir noktada (40°8'38.60"K, 33°22'4.36"D) 2022 yılında karaca (*Capreolus capreolus* Linnaeus, 1758) ilk defa araç çarpması sonucunda ölmüştür. Bununla birlikte, 2021 yılında birer hafta arayla çok yakın iki noktada iki alacasansara araç çarpmıştır. Ankara-Kırıkkale, Kırıkkale-Çankırı ve Ankara-Çankırı Karayolu'nda daha önce alacasansar kazası tespit

edilmemiştir. Güven (2019), Çankırı ili sınırlarındaki (Çerkeş-Tosya) D100 Karayolu'nda YHAÇ üzerine yaptığı çalışmada bir adet alacasansar, bir adet çakal ve 14 adet karacayı kayıt altına almıştır. Güven (2019) tarafından kayda alınan bölgeler blok ormanların içinden veya kenarından geçmektedir. Aslında bu yeni kayıtlar bize yaban hayvanlarının dağılımı konusunda bilgiler sunmaktadır. Ankara-Çankırı Karayolu İç Anadolu için önemli lokasyondaki İdris Dağı gibi yaban hayatı sığınaklarının içinden geçmektedir. Hem çakal hem de karacanın alanda araç kazasına uğraması bu türlerin yurt alanlarını genişlettiğini ve popülasyonlarının büyüdüğünü gösterebilir. YHAÇ'lerin en önemli özelliklerinden bir tanesi de varlık-yokluk verilerinin oluşturulması ve popülasyon büyüklüklerinin ve trendlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilir olmasıdır (Chandler vd., 2017). Çalışma alanında YHAÇ sonucunda ölen yaban hayvanlarının %80'inden fazlasını kirpi, sansar ve tilki oluşturmaktadır. Bu sonuçlar, 2014 yılından bu yana hiç değişmeden her yıl devam etmiştir. Kirpi, 2014 yılından itibaren en çok ölen memeli yaban hayvanıdır. Onu tilki ve sansar izlemektedir. Güven (2019), D100 Karayolu (Tosya-Çerkeş) ile D765 Ankara-Çankırı-Kastamonu Karayolu'nda (Ankara il sınırı Kastamonu il sınırı arası) yapmış olduğu çalışmada YHAÇ sonucu ölen 230 yaban hayvanının 163 adedini (%71) bu üç türün oluşturduğunu tespit etmiştir. Özcan vd. (2022) tarafından da yüksek trafik hacmine sahip Ankara-Samsun Karayolu'nda benzer sonuçlar elde edilmiştir. O çalışmada farklı olarak sansar sayısı tilki sayısından fazladır. Kırpilerin diyetinin %90'ını omurgasızlar oluşturmaktadır (Reeve vd., 2019) ve bu nedenle sonbahar-kış döneminde yiyecek eksikliğinden kurtulmanın tek yolu kış uykusuna yatmaktır (Jensen, 2004). Dolayısıyla, çalışma alanında kırpilerin araç çarpması ile 9 aylık bir süreçte öldüğünü unutmamak gerekmektedir. Üç tür de karnivor olup, ayrıca tilki ve sansar fırsatçı birer türdür. Bu üç tür de karayolundan sığınma faaliyeti içerisine girmediği gibi karayolu üzerinde yatay hareketlerde bulunmaktadır. Düşük bir kullanım alanına sahiptir. Son olarak, üç yaban hayvanının her türlü habitata uyum sağlayabilen çok yaygın birer tür olması da diğer bir etken olabilir. Bu üç tür 2014 yılından itibaren inişli çıkışlı YHAÇ profili gösterse de oldukça yüksek sayılarda devam etmektedir. Belki de Türkiye'de bu üç türün popülasyon dengesinde en büyük kısmı YHAÇ oluşturmaktadır. Çalışmada bütün zamanlar, her yıl ayrı ayrı ve kazada ölen üç tür için olmak üzere toplam altı farklı YHAÇ sıcak alan haritası oluşturulmuştur. Bu sıcak noktalar rastgele şekilde kümelenmiştir. Sansar, tilki ve kirpi YHAÇ sıcak alanları arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Dolayısı ile, bu üç türün ölüm noktalarının dağılımları çok farklı alanlarda gerçekleşmektedir. Bu üç karnivor türünün yaşam kullanım alanlarındaki farklılığın bunda etken olabileceği düşünülmektedir. Aslında üç türün kazalarının yoğunlaştığı alanlar farklı farklı da olsa karayolunun Terme Çayı'na paralel hareket ettiği 20km'lik kısımda artmaktadır. Bu bölge özellikle Terme Çayı'nın ve çevresinin yoğun sebze ve meyve tarımından dolayı beslenme alanları oluşturması ve yaban hayvanlarının su ihtiyacının karşılanması için önemli bir alandır. Örneğin, Özcan'ın (2018) Kırıkkale-Çankırı Karayolu'nda yaptığı çalışmada, yolun düşük trafik yoğunluğuna sahip Kalecik-Kırıkkale kısmındaki en fazla kirpi ölüm vakaları Kızılırmak ile yolun paralel olduğu kesimlerde gerçekleşmiştir. Orlozski ve Nowak (2004)

Polonya'nın Wrocław kentinde yerleşim alanlarında kirpi yoğunluğunu 10-20 adet/km<sup>2</sup>, bahçe alanlarında ise 100-200 adet/km<sup>2</sup> olarak tespit etmiştir.

Çankırı-Ankara karayolu üzerindeki yaban hayatı kazalarını azaltabilmek için bir dizi önlem alınabilir. Öncelikli olarak yol üzerine ekolojik üst geçitlerin yapılması kesinlikle ekonomik değildir. Fakat, özellikle menfez ve köprü geçişleri ekolojik alt geçit olarak yeniden düzenlenerek ve belirli mesafelerde çitler çekilerek yaban hayvanları geçişlerinin yönlendirilmesi durumunda kazalar azalacaktır. Yol ikaz işaretlerinin aşırı veya yanlış kullanımı, sürücüler açısından etkinliğini kaybetmesine yol açmaktadır (Krisp ve Durot, 2007). Yine de yaban hayatının düzenli ve sık olarak geçtiği kesimlerde ikaz levhalarının konulması gerekmele birlikte ölümcül/yaralamalı ve maddi hasarlı kazaların olduğu noktalarda gerekirse hız tespit cihazları kullanılmalıdır. Bu anlamda, çalışma alanında belirlenen YHAÇ sıcak noktaları/alanları bize hangi lokasyonların uyarı işaretlerine ihtiyaç duyduğuna dair göstergeler sunabilir. Buna karşın, sadece YHAÇ etkin noktalarını belirlemek de ekolojik koruma planlaması açısından tek başına yeterli olmayabilir ve bu çalışmayla YHAÇ vakası tespit edilen alacasansar gibi hassas türler konusunda da yaban hayatı uzmanları tarafından değerlendirilmeler yapılabilir.

#### Açıklama

Bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından OF080120B10 Numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü Çankırı Karatekin Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

#### Kaynakça

- Arpacık, A., Sarı, A., Gündoğdu, E., Başkaya, Ş., 2016. Effects Of Roads On Wildlife In Azdavay Kartdağ Wildlife Reserve Area. Forest Engineering and Technologies FETEC 2016, 2-4 Haziran, Bursa, pp.155-163.
- Ascensão, F., Clevenger, A., Santos-Reis, M., Urbano, P., Jackson, N., 2013. Wildlife-vehicle collision mitigation: Is partial fencing the answer? An agent-based model approach. Ecological Modelling, 257, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.026>.
- Balkenhol, N., Waits, L.P., 2009. Molecular road ecology: exploring the potential of genetics for investigating transportation impacts on wildlife. Molecular Ecology, 18(20): 4151-4164.
- Barrientos, R., Ascensão, F., Beja, P., Pereira, H.M., Borda-de-Água, L., 2019. Railway ecology vs. road ecology: similarities and differences. European Journal of Wildlife Research, 65: 1-9.
- Bil, M., Andrásik, R., 2020. The effect of wildlife carcass underreporting on KDE+ hotspots identification and importance. Journal of Environmental Management, 275: 111254.
- Bissonette, J.A., Kassar, C.A., Cook, L.J., 2008. Assessment of costs associated with deer-vehicle collisions: human death and injury, vehicle damage, and deer loss. Hum Wildl Conflicts, 2: 17-27.
- Bülbül, U., Eroğlu, A.İ., Kutrup, B., Kurnaz, M., Koç, H., Odabaş, Y., 2019. Road kills of amphibian and reptile species in Edirne and Kırklareli Provinces of Turkey. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(2): 109-121.
- Bülbül, U., Gür Koç, H., 2022. Road kills of *Bufo viridis* (Laurenti, 1768): A case study from Konya province of Turkey. Journal of Zoological Research, 4(1): 21-25.

- Cain, A.T., Tuovila, V.R., Hewitt, D.G., Tewes, M.E., 2003. Effects of a highway and mitigation projects on bobcats in southern Texas. *Biological Conservation*, 114: 189-197.
- CIA, 2019. The world factbook. Central Intelligence Agency, Washington, USA, <https://www.cia.gov/the-world-factbook/>, Accessed: 06.03.2024.
- Chandler, M., See, L., Buesching, C.D., Cousins, J.A., Gillies, C., Kays, R.W., et.al., 2017. Involving citizen scientists in biodiversity observation. In: *The GEO Handbook On Biodiversity Observation Networks* (Ed: Walters, M., Scholes, R.J.), Springer, Cham, pp. 211-237.
- Chen, J., Xu, H., Wu, J., Yue, R., Yuan, C., Wang, L., 2019. Deer crossing road detection with roadside LiDAR sensor. *Ieee Access*, 7: 65944-65954.
- Clevenger, A.P., Chruszcz, B., Gunson, K.E., 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*, 109: 15-26.
- Coffin, A.W., 2007. From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5): 396-406.
- Danks, Z.D., Porter, W.F., 2010. Temporal, spatial, and landscape habitat characteristics of moose-vehicle collisions in western Maine. *Journal of Wildlife Management*, 74: 1229-1241.
- Dursun, C., Özdemir, N., Gül, S., 2023. Road mortality report of the genus *bufo* in Northeastern Türkiye. *Biology Bulletin*, 50(Suppl 4): 746-755.
- Fedorca, A., Fedorca, M., Ionescu, O., Jurj, R., Ionescu, G., Popa, M., 2021. Sustainable landscape planning to mitigate wildlife-vehicle collisions. *Land*, 10(7): 737.
- Galinskaitė, L., Ulevičius, A., Valskys, V., Samas, A., Busher, P.E., Ignatavičius, G., 2022. The influence of landscape structure on Wildlife-Vehicle Collisions: Geostatistical analysis on hotspot and habitat proximity relations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1): 63. <https://doi.org/10.3390/ijgi11010063>.
- Gomes, L., Grilo, C., Silva, C., Mira, A., 2009. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecological Research*, 24(2): 355-370.
- Grilo, C., Smith, D.J., Klar, N., 2015. Carnivores: struggling for survival in roaded landscapes. In: *Handbook of Road Ecology* (Ed: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C.), John Wiley & Sons Ltd, pp. 300-312.
- Grilo, C., Koroleva, E., Andrášik, R., Bíl, M., González-Suárez, M., 2020. Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(6): 323-328. <https://doi.org/10.1002/fee.2216>.
- Gunson, K., Teixeira, F.Z., 2015. Road-wildlife mitigation planning can be improved by identifying the patterns and processes associated with wildlife-vehicle collisions. In: *Handbook of Road Ecology* (Ed: van der Ree, R., Smith, D.J., Grilo, C.), John Wiley & Sons Ltd, New Jersey, U.S., pp. 101-109.
- Gülçin, D., 2020. Orman Ekosisteminde Habitat Parçalanmasının Mekânsal Ve Zamansal Değişiminin Analizi: Muğla Örneği (Ed., Kozlu, H.H.), Mimarlık Biliminde Akademik Çalışmalar, *Livre de Lyon*, s: 241-262.
- Gülçin, D., Yılmaz, K.T., 2020. Evaluation of forest fragmentation with particular reference to landscape-based ecological assessment and wildlife conservation. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1): 84-93.
- Güven, Y., 2019. Çankırı ilinde trafik ve karayollarının memeli hayvanlar üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı.
- Hill, J.E., DeVault, T.L., Belant, J.L., 2019. Cause-specific mortality of the world's terrestrial vertebrates. *Global Ecology and Biogeography*, 28(5): 680-689.
- Hill, J.E., DeVault, T.L., Belant, J.L., 2020. Research note: A 50-year increase in vehicle mortality of North American mammals. *Landscape and Urban Planning*, 197: 103746.
- Hostetler, J.A., McCown, J.W., Garrison, E.P., Neils, A.M., Barrett, M.A., Sunquist, M.E., 2009. Demographic consequences of anthropogenic influences: Florida black bears in north-central Florida. *Biological Conservation*, 142(11): 2456-2463.
- Jackson, N.D., Fahrig, L., 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. *Biological Conservation*, 144(12): 3143-3148.
- Jensen, A.B., 2004. Overwintering of European hedgehogs *Erinaceus europaeus* in a Danish rural area. *Acta Theriologica*, 49: 145-155.
- Krisp, J.M., Durot, S., 2007. Segmentation of lines based on point densities: an optimisation of wildlife warning sign placement in southern Finland. *Acc. Anal Prev.*, 39: 38-46.
- Langbein, J., Putman, R., Pokorny, B., 2011. Traffic collisions involving deer and other ungulates in Europe and available measures for mitigation. In: *Ungulate Management in Europe* (Ed: Putman, R., Apollonio, M., Andersen, R.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 215-259.
- Laube, P., Ratnaweera, N., Wróbel, A., Kaelin, I., Stephani, A., Reifler-Baechtiger, M., Suter, S., 2023. Analysing and predicting wildlife-vehicle collision hotspots for the Swiss road network. *Landscape Ecol.*, 38: 1765-1783. <https://doi.org/10.1007/s10980-023-01655-5>.
- Levine, N., 2006. The CrimeStat program: characteristics, use and audience. *Geographical Analysis*, 38: 41-56.
- Okabe, A., Yamada, I. 2001. The K-function method on a network and its computational implementation. *Geographical Analysis*, 33: 271-290.
- Orlowski, G., Nowak, L., 2004. Road mortality of hedgehogs *Erinaceus* spp. in farmland in lower Silesia (South-Western Poland). *Polish Journal of Ecology*, 52(3): 377-382.
- Özcan, A.U., Özkazanç, N.K., 2017. Identifying the hotspots of wildlife-vehicle collision on the Çankırı-Kırıkkale highway during summer. *Turkish Journal of Zoology*, 41(4): 722-730.
- Özcan, A.U., 2018. Step bölgede mammalia sınıfı yaban hayvanları ile araç çarpışmalarının modellenmesi: Kırıkkale-Çankırı Karayolu örneği. Doktora tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Özcan, A.U., Özkazanç, N.K., 2020. Yaban hayvanı uyarı levhalarının konumlarının değerlendirilmesi Kırıkkale-Çankırı Karayolu örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 22(1): 1-1.
- Özcan, A.U., Kutlutürk, M.M., Kuter, S., 2022. Modelling of road-kill hotspots in steppe landscape in Turkey. *Landscape and Ecological Engineering*, 18(4): 441-449.
- Placek, M., 2024. Estimated worldwide motor vehicle production from 2000 to 2023. Statista, <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/#:~:text=ln%202023%2C%20some%2094%20million,of%20cars%20and%20commercial%20vehicles.> Accessed: 24.04.2024.
- Ramp, D., Caldwell, J., Edwards, K.A., Warton, D., Croft, D.B., 2005. Modelling of wildlife fatality hotspots along the Snowy Mountain Highway in New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 126: 474-490.
- Ramp, D., Wilson, V.K., Croft, D.B., 2006. Assessing the impacts of roads in periurban reserves: road-based fatalities and road usage by wildlife in the Royal National Park, New South Wales, Australia. *Biological Conservation*, 129: 348-359.
- Reeve N., Bowen C., Gurnell J., 2019. An improved identification marking method for hedgehogs. *Mammal Communications*, 5: 1-5, London.
- Seaman, E.D., Powell, R., 1996. An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis. *Ecology*, 77(7): 2075-2085.
- Shilling, F.M., Waetjen, D.P., 2015. Wildlife-vehicle collision hotspots at US highway extents: scale and data source effects. *Nature Conservation*, 11: 41-60.

- Shilling, F., Nguyen, T., Saleh, M., Kyaw, M.K., Tapia, K., Trujillo, G., Ham, E., 2021. A reprieve from US wildlife mortality on roads during the COVID-19 pandemic. *Biological Conservation*, 256: 109013.
- Silverman, B.W., 1986. *Density Estimation For Statistics and Data Analysis*. Chapman and Hall, London, UK.
- Snow, N.P., Williams, D.M., Porter, W.F., 2014. A landscape-based approach for delineating hotspots of wildlife-vehicle collisions. *Landscape Ecology*, 29(5): 817-829.
- Tok, C.V., Ayaz, D., Cicek, K., 2011. Road mortality of amphibians and reptiles in the Anatolian part of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 35(6): 851-857.
- Toyran, K., Adizel, Ö., Azizoğlu, E., 2018. Road kills of mammal species in the Van Lake Basin (Turkey). *Biological Diversity and Conservation*, 11(1): 40-44.
- Tuttu, U., Ulaş, E., Gülçin, D., Velázquez, J., Çiçek, K., Özcan, A.U., 2024. Assessment of ecological bridges at wildlife crossings in Türkiye: A case study of wild boar crossings on the İzmir-Çeşme Motorway. *Animals*, 14(1): 30. <https://doi.org/10.3390/ani14010030>.
- Valerio, F., Basile, M., Balestrieri, R., 2021. The identification of wildlife-vehicle collision hotspots: Citizen science reveals spatial and temporal patterns. *Ecological Processes*, 10(1): 6.

## Yaban hayatı geliştirme sahalarına ilişkin olumsuz yerel algıların belirleyicileri

Mehmet Korkmaz<sup>a,\*</sup>, Mevlüt Zenbilci<sup>b</sup>, Ahmet Koca<sup>c</sup>, Yasin Ünal<sup>d</sup>

**Özet:** Günümüzde insan kaynaklı faaliyetler ile iklim değişikliği başta olmak üzere ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle doğal kaynak değerlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi çok daha önemli hale gelmiştir. Bu amaçla bazı alanlara farklı koruma statüleri verilmektedir. Koruma statüleri, yerel halk için birtakım kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Bu kısıtlamalar özellikle ekonomik içerikli kayıplar oluşturması nedeniyle yerel halkta koruma kararına yönelik olumsuz algılar oluşturabilmektedir. Olumsuz yerel algılar, alanın koruma hedeflerine ulaşmada önemli bir engel oluşturabilmektedir. Bu çalışmada Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası örneğinde yaban hayatı geliştirme sahalarına ilişkin yerel algıların belirleyicileri ortaya konulmuştur. Veriler anket tekniği ile toplanmıştır. Veri değerlendirme yöntemi olarak lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre aileden göç, hayvan yetiştiriciliği, meraların yeterliliği ve yaban hayatı geliştirme sahası ilanı dolayısıyla yaşanacak gelir kaybı kaygısının olumsuz algıların oluşmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kırsal yerleşimler, Korunan alanlar, İnsan-yaban hayatı çatışması, Yaban hayatı geliştirme sahası

## Determinants of negative local perceptions regarding wildlife reserve

**Abstract:** Nowadays, the protection and sustainable management of natural resource values has become much more important due to environmental problems, especially human-induced activities and climate change. To this end, some areas are given different protection statuses. Their protected status brings with it some restrictions for local people. These restrictions can lead local people to have negative perceptions of the conservation decision, especially because they cause economic losses. Negative local perceptions can be a significant obstacle to achieving the conservation goals of the area. In this study, the determinants of local perceptions of wildlife reserves were identified using the example of Bozdağ Wildlife Reserve. Data were collected using a survey technique. Logistic regression analysis was used as the data analysis method. According to the results of the study, it was found that family migration, livestock farming, pasture adequacy and fear of income loss due to the declaration of a Wildlife Development Area were effective in the formation of these perceptions.

**Keywords:** Rural settlements, Protected areas, Human-wildlife conflict, Wildlife reserve

### 1. Giriş

Yaban hayatı yönetiminin temeli, avlanan ve avlanmayan tüm türler göz önüne alınarak doğal yaşamın (ekosistem ve genetik çeşitlilik) korunması ve geliştirilmesine dayanır (Oğurlu, 2008). Yaban hayatı yönetimi amaçlarının gerçekleştirilmesi için bu alanların yaban hayatı geliştirme sahası olarak koruma altına alınması önem taşımaktadır. Yaban hayatı geliştirme sahası, 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu'na göre; “*av ve yaban hayvanlarının ve yaban hayatının korunduğu, geliştirildiği, av hayvanlarının yerleştirildiği, yaşama ortamını iyileştirici tedbirlerin alındığı ve gerektiğinde özel avlanma planı çerçevesinde avlanmanın yapılabildiği sahalardır*” olarak tanımlanmaktadır (YHGSY, 2004). Bu sahalardaki koruma statüsü, Dünya Doğayı Koruma Birliği (IUCN) kategorisinde IV. kategori olan “Habitat/Tür Koruma Alanı”na karşılık gelmektedir (ÇOB, 2009).

Ülkemizde bulunan 85 adet yaban hayatı geliştirme sahasının toplam alanı 1.165.349 ha'dır. Bu sahalarda su kuşları, yaban keçisi, geyik, kara akbaba, yaban koyunu, dağ horozu, karaca, çengel boynuzlu dağ keçisi, sülün, çizgili sırtlan, toy, ceylan, karakulak, kurt, su samuru, bozayı, kelaynak, çöl varanı ve Fırat kaplumbağası hedef türlerdir. Anadolu yaban koyunu (*Ovis gmelini anatolica*)'nun geliştirilmesi amacı bulunan iki yaban hayatı geliştirme sahasından ilki, Ankara'da Nallıhan Yaban Hayatı Geliştirme Sahası (Alanı: 14.784 ha) adıyla, ikincisi ise Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası olarak Konya'da (Alanı: 59.297 ha) ilan edilmiştir (DKMP, 2024).

Yaban hayatı geliştirme sahaslarının geniş alanları kapsamaları ve sınırları içerisinde yerleşim yeri, mera, tarım arazisi vb. insan faaliyetlerinin bulunması nedeniyle insan-

✉ <sup>a</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta

<sup>b</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta

<sup>c</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Sütçüler, Isparta

<sup>d</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Yaban Hayatı Ekolojisi ve Yönetimi Bölümü, Isparta

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmetkorkmaz@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.04.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 08.08.2024



**Citation** (Atıf): Korkmaz, M., Zenbilci, M., Koca, A., Ünal, Y., 2024. Yaban hayatı geliştirme sahalarına ilişkin olumsuz yerel algıların belirleyicileri. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 283-289.

DOI: [10.18182/tjf.1475934](https://doi.org/10.18182/tjf.1475934)

yaban hayatı çatışması<sup>1</sup> yaşanabilmekte yahut alanlarının yaban hayatı geliştirme sahası şeklinde koruma statüsüne alınmasına yönelik olumsuz algı ve görüşler oluşabilmektedir. Bu olumsuz algı ve görüşler, alanın yönetimi açısından yerel halkın desteğini azaltıcı etkiler oluşturmaktadır ve alanların istenilen düzeyde yönetimini zorlaştırmaktadır.

Koruma statüsü verilen alanların içinde veya yakınında yaşamını sürdüren yerel halkın koruma kararına yönelik olumsuz algıları, alanların sürdürülebilir yönetimini menfi yönde etkilemektedir. Bu konularda çok sayıda bilimsel araştırma bulunmaktadır. Korunan alan yönetimi-yerel halk çatışmaları (Aagesen, 2000; Mukherjee, 2009; Daim, vd., 2011), insan-yaban hayatı çatışmaları (Alkan ve Ersin, 2018), korunan alanlarda yerel halkın algı, tercih ve beklentileri (Trakolis, 2001; Alkan, 2009; Alkan vd., 2009; Alkan ve Korkmaz, 2009; Alkan vd., 2010; Tokatlı ve Gürbüz, 2014; Akbulut vd., 2015; Akyol vd., 2018), planlama ve yerel halkın katılımı (Anderson ve Barbour, 2003; Koca vd., 2016; Hidle, 2019) konularında yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir. Ulusal düzeydeki yazında yaban hayatı geliştirme sahasları ile etkileşim halindeki yerleşim birimlerinde yaşayan yerel halkın, alana yönelik algılarının ölçümünü içeren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu makalenin amacı; Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası içerisinde veya bitişiğinde yer alan yerleşim birimlerinde yaşayan ve alanın yaban hayatı geliştirme sahası olarak ilan edilmesini gerekli bulan ve bulmayan bireylerin bu algı farklılıklarının nedenlerini, yani yerel algıların belirleyicilerini araştırmaktır.

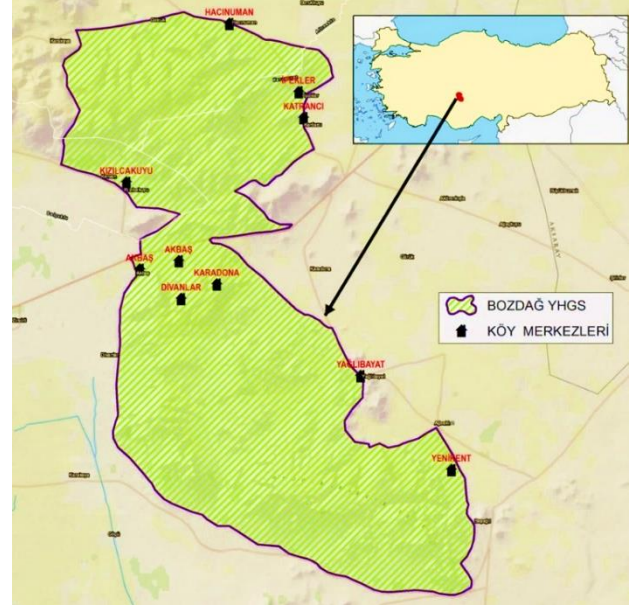
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Araştırma alanının tanıtımı

Çalışma kapsamında Konya ili sınırları içerisinde bulunan Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası araştırma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). 1960'lı yıllarda aşırı ve kaçak avlanma, habitat bölünmesi ve habitat kaybı, evcil koyunlarla beslenme rekabeti gibi nedenlerle Anadolu yaban koyunu (*Ovis gmelini anatolica*) doğal yaşam alanlarının hemen hemen tamamından yok olma tehlikesi ile karşı karşıya kalmıştır. Sayılarının 1967 yılında 40'a kadar düştüğü bildirilmiştir (Turan, 1984). Sayılarının hızla azalması üzerine 1967 yılında Anadolu yaban koyunlarının yaşadığı Konya Bozdağ'daki alan, "Yaban Koyunu Koruma Sahası" olarak ilan edilmiştir (Buğdaycı vd., 2019).

Bu dönemden sonra, kurt (*Canis lupus*) gibi yırtıcı hayvanlardan kaynaklanan baskının azaltılması ve evcil koyunlarla rekabetin önlenmesi amacıyla 1989 yılında 3.515,50 hektarlık bir alan tel örgü ile çevrilmiş ve yaban koyunlarının büyük bir bölümü bu çevrili alan içerisine alınmıştır. 1997 yılında tel örgüye elektrik verilmiş, kurt gibi etçil türlerin saha içerisine girmeleri engellenmiştir (Arıkan, 2011).

Alan, 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu'na dayanılarak 16.10.2005 tarih ve 2005/9453 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile Anadolu yaban koyunu popülasyonlarını korumak ve geliştirmek üzere Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası olarak ilan edilmiştir (DKMP, 2024).



Şekil 1. Araştırma alanının konumu

### 2.2. Materyal

Veriler yüz yüze uygulanan anketler ile toplanmıştır. Anket uygulamaları için Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 183/01 sayılı kararı ile izin alınmıştır. Anket formunda alanın yaban hayatı geliştirme sahasının ilan süreçleri ile ilgili bilgi ve algılar ile sosyo-ekonomik ve demografik özellikleri belirlemeye yönelik soru ve önermelere yer verilmiştir. Örnek büyüklüğü eşitlik 1'e göre belirlenmiştir (Baş, 2010):

$$n = \frac{t^2 Npq}{(N-1)d^2 + t^2 pq} \quad (1)$$

Burada;

n: Örnek büyüklüğünü,

t: Belirli bir anlamlılık düzeyinde t tablosuna göre bulunan teorik değer (%95 güven düzeyi için 1,96),

N: Ana kütle büyüklüğünü,

p: Ölçmek istenilen büyüklüğün ana kütlede bulunma olasılığını (0,5),

q: Ölçmek istenilen büyüklüğün ana kütlede bulunmama olasılığını (0,5),

d: Kabul edilen örnekleme hatasını (Bu çalışmada %10 olarak alınmıştır) göstermektedir.

Yukarıda detayları verilen eşitlik (1)'e göre örnek büyüklüğü 96 kişi olarak hesaplanmış olup 101 haneyi temsil eden birey çalışmalara katılmıştır. Anket çalışmaları Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası sınırları içerisinde ve bitişiğinde yer alan Kızılcaкую (anket sayısı: 11), Akbaş (10), Hacinumani (11), Göçü (10), Beşağıl (10), Divanlar (17), Eğribayat (5), Ağsaklı (1), Koçyaka (1), Kervan (3), İpekler (10) ve Katranlı (12) köylerinde yürütülmüştür.

<sup>1</sup> İnsan-yaban hayatı çatışması, "yaban hayatının varlığının veya davranışının insan çıkarları veya ihtiyaçları için gerçek veya algılanan, doğrudan ve tekrarlayan bir tehdit oluşturması, insan grupları arasında anlaşmazlıklara ve insanlar ve/veya

yaban hayatı üzerinde olumsuz etkilere yol açması durumunda ortaya çıkan mücadeleler olarak tanımlanmaktadır (IUCN SSC, 2020).

## 2.2. Yöntem

Verilerin değerlendirilmesinde ilk olarak aritmetik ortalama, standart sapma ve frekanslar kullanılmıştır. İkinci aşamada ise yaban hayatı geliştirme sahası ilan sürecini gerekli bulma/bulmama algısını etkileyen etmenleri belirlemek için öncelikle Ki-kare testi, ardından geriye doğru adımsal çıkarma (backward stepwise) lojistik regresyon analizi uygulanmıştır.

Lojistik regresyon analizinin temel amacı, “bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi, en az değişken ile en iyi uyuma sahip olacak biçimde tanımlayabilen, kabul edilebilir bir model kurmak” olup (Atasoy, 2001) odak noktası, “bireylerin hangi grubun üyesi olduğunu tahmin etmek için bir regresyon denklemi oluşturmaktır” (Çokluk, 2010). Bu analiz, bağımlı değişkenin iki ya da daha fazla kategorik veri tipinde olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada da bağımlı değişken (yaban hayatı geliştirme sahası ilanının gerekliliği) iki seçeneqli kategorik veriden oluştuğu (evet/hayır) için bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelerken iki durumlu (binary) lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Elde edilen modelin uyum iyiliği, Hosmer-Lemeshow testi ile belirlenmiştir. Analizlerde SPSS 22.0 programı kullanılmıştır.

## 3. Bulgular

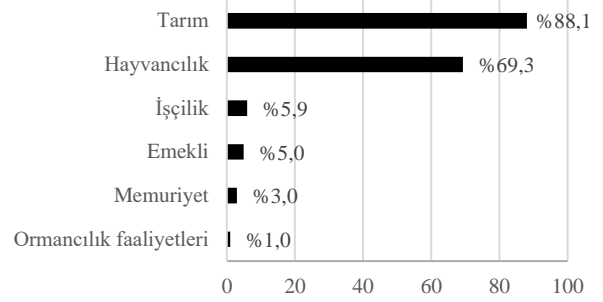
### 3.1. Anket katılımcılarının sosyo-demografik özellikleri

Anket çalışmalarına katılan hane temsilcilerinin tamamı erkek olup yaklaşık yarısı (%52,5), 46 yaşından küçüktür. 25 ve daha küçük yaşlarda olan bireylerin oranı %5 ile çok düşük düzeydedir. Benzer durum 65 yaş üzeri katılımcılar için de geçerlidir. Eğitim düzeyi bakımından ilkökul mezunları %71,3 ile çoğunluktadır. Bunun yanında katılımcıların tamamı okur yazar olup herhangi bir eğitim kurumundan mezundur (Çizelge 1).

Hanelerdeki geçim kaynakları incelendiğinde (Şekil 2), tarım ve hayvancılık temel uğraşı düzenleri olarak öne çıkmaktadır. Hane gelirlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Hane gelirleri ortalaması yaklaşık 3.124,75 TL/ay olarak belirlenmiştir. Hane büyüklüğü incelendiğinde hanelerdeki ortalama birey sayısı beş kişidir. Hane başına düşen ortalama çocuk sayısı 2-3 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Bu verilere göre bölgedeki yerleşimlerde hane halkı büyüklüğüne göre çekirdek aile tipinin yaygın olduğu çıkarımı yapılabilir.

Çizelge 1. Anket çalışmalarına katılan bireylerin yaş ve eğitim gruplarına dağılımı

| Yaş Grupları | Sayı | %    |
|--------------|------|------|
| ≤25          | 5    | 5,0  |
| 26-45        | 48   | 47,5 |
| 46-65        | 40   | 39,6 |
| >65          | 8    | 7,9  |
| Eğitim       | Sayı | %    |
| İlkokul      | 72   | 71,3 |
| Ortaokul     | 20   | 19,8 |
| Lise         | 5    | 5,0  |
| Üniversite   | 4    | 4,0  |



Şekil 2. Hanelerin geçim kaynakları (Birden fazla seçenek işaretlenmiştir.)

Çizelge 2. Hanelerin gelir, hane halkı büyüklüğü ve çocuk sayısına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

|                      | En düşük | En yüksek | Ortalama | Stand. Sapma |
|----------------------|----------|-----------|----------|--------------|
| Gelir (TL/ay)        | 1.000    | 20.000    | 3.124,75 | 2.074,15     |
| Hane halkı büyüklüğü | 2        | 11        | 5,09     | 1,73         |
| Çocuk sayısı         | 0        | 7         | 2,81     | 1,38         |

### 3.2. Sosyo-ekonomik özellikler ile algı ve görüşler

Bu bölümde çalışma alanı içerisinde yer alan yerleşim birimlerinde yaşamını sürdüren ve ankete katılan bireylerin bazı sosyo-ekonomik özellikleri ve yaban hayatı geliştirme sahası ile ilgili algı ve görüşlerine yer verilmiştir (Çizelge 3).

Ülkemizde kırsal alanlardan kentlere göç, geçmişten itibaren sürmektedir. Çalışma alanı kapsamında yer alan yerleşim birimlerinde bu göç olgusu yaşanmaktadır. Ancak anket çalışmalarına katılan bireylerin mensubu olduğu ailelerden geçmişten günümüze göç etme oranı %25,7 olup görece düşük düzeydedir (Çizelge 3).

Yerleşim birimlerinde ana geçim kaynakları arasında tarım ve hayvancılık ön plana çıkmaktadır. Hayvancılık salma hayvancılık şeklinde yapılmakta olup bu uğraşı düzenini benimseyenler, yılın belli dönemlerinde hayvanlarını otlatma amacıyla meralara çıkartmaktadır. Çizelge 3’e göre ankete katılan bireylerin arasında hayvancılık yapanlar, mevcut meraların alan ve verim açısından yeterli olmadığını düşünmektedir. Hayvancılık kapsamında küçükbaş hayvancılık yaygın olup en fazla yetiştiriciliği yapılan tür koyundur. Yörede koyun sürüleri büyük oranda Anadolu yaban koyununun otladığı alanlarda otlatılmaktadır. Bu açıdan yaban koyununun besin kaynaklarının yönetiminde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Çizelge 3’te dikkati çeken önemli bir nokta, anket katılımcılarının ormancılık faaliyetlerinden duyduğu memnuniyet düzeyinin düşüklüğüdür (%87,1). Bunun en önemli nedenleri, çevrede verimli orman alanının azlığı, ormancılık faaliyetlerinden elde edilen gelir düzeyinin ve istihdam oranının düşüklüğü olarak ifade edilmektedir. Anket çalışmaları kapsamında yöre insanının yaban hayatı geliştirme sahası konusundaki görüşleri ve algıları da sorgulanmıştır. Yöre insanların yaban hayatı geliştirme sahası ilan süreçlerinden büyük oranda (%76,2) bilgisi olmamıştır. Buna ek olarak yaban hayatı geliştirme sahaları ile ilgili yasal düzenlemeler hakkında bilgisi olanların oranı (%2) çok düşük düzeydedir. Bu sahanın ilanı dolayısıyla gelir kaybı yaşayacağını belirtenlerin oranı %75,2 ile yüksektir. Ters olarak sahanın ilanı ile ek gelir sağlanabileceğini düşünenlerin oranı %1 düzeyindedir. Sonuç olarak alanın

yaban hayatı geliştirme sahası olarak ilan edilmesinin gerekli olmadığını düşünenlerin oranı (%75,2) karşı görüşe sahip olanlara (%24,8) nazaran daha fazladır (Çizelge 3).

### 3.3. Olumsuz alguların belirleyicileri

Önceki bölümde de belirtildiği üzere çalışmaya katılan bireylerin yaklaşık %25'i (25 kişi) alanın yaban hayatı geliştirme sahası olarak ilan edilmesinin gerekli ve yerinde bir karar olduğunu belirtirken, bu kararı gereksiz olarak değerlendiren ve karşı çıkanların oranı %75 (76 kişi) düzeyindedir. Sahanın ilanına ilişkin gerekli/gerekli değil algısı üzerinde etkisi olan etmenleri belirlemek için ilk olarak, bu algıları etkilemesi muhtemel bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bu belirlemeler için Ki-kare ( $X^2$ ) testi yapılmış olup istatistik açıdan anlamlı ilişkilerin olduğu ( $p<0,05$ ) değişkenlere ilişkin sonuçlar Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4'e göre geçmişte göç veren ailelere mensup bireylerin, diğer bireylere göre yaban hayatı geliştirme sahası kararını gerekli bulmama yüzdesi görece olarak daha yüksektir. Bu yükseklik istatistiksel olarak da anlamlıdır ( $p<0,05$ ). Kırsal uğraşı düzenleri arasında hayvancılık yapan bireyler de yapmayan bireylere göre bu kararın gereksiz olduğunu savunmaktadır. Meraların yeterliliği konusunda da benzer bulgulara ulaşılmıştır. Yaban hayatı geliştirme sahası kararından dolayı oluşan gelir kaybı kaygısı, kararın gerekli bulunma algısını ters yönde etkilemektedir. Bu sonuçlara göre esasen yaban hayatı geliştirme sahası kararını gerekli

veya gereksiz olarak değerlendirilmesinin altında ekonomik içerikli kaygılar yatmaktadır.

Çizelge 4'te belirlenen değişkenler, lojistik regresyon analizinde kullanılan bağımsız değişkenlerdir. Değişkenler arasında çoklu bağlantı (multicollinearity) olup olmadığı varyans şişirme faktörü (VIF) ve tolerans değerleri hesaplanarak belirlenmiştir. Tüm değişkenler için tolerans değerleri 0,787 ile 0,977 ve VIF değerleri 1,023 ile 1,271 arasında değişmektedir. Belirlenen tolerans değerleri 0,1'den büyük ve VIF değerleri 10'dan küçük olduğu için çoklu bağlantı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Çokluk, 2010; Tabakan ve Avcı, 2021).

Çizelge 5'te gösterilen Hosmer ve Lemeshow testi sonuçlarına göre elde edilen modelin veri uyumunun sağlandığı görülmektedir ( $p=0,617>0,05$ ). Çünkü Hosmer ve Lemeshow testi, lojistik regresyon modelinin tamamının uyumu konusunda bilgi veren bir test olup, test sonucunun istatistiksel olarak anlamlı olmaması ( $p>0,05$ ), modelin veri uyumu için yeterlidir (Mutluer ve Büyükkıdık, 2017).

Lojistik regresyon modeline göre elde edilen sınıflandırma sonuçları Çizelge 6'da gösterilmiştir. Buna göre yaban hayatı geliştirme sahası kararının gereksiz olduğunu belirtenlerin doğru sınıflandırma yüzdesi %86,8 iken, yaban hayatı geliştirme sahası kararını yerinde ve gerekli bulanların doğru sınıflandırılma yüzdesi ise %44,0'dır. Verilerin tamamı bakımından doğru sınıflandırma yüzdesi ise %76,2 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3. Sosyo-ekonomik özellikler ile algı ve görüşler

| Önemler   | Evet |      | Hayır |      |
|---|------|------|-------|------|
|   | Sayı | %    | Sayı  | %    |
| Aileden göç etme durumu                           | 26   | 25,7 | 75    | 74,3 |
| Hayvancılık yapma durumu                          | 70   | 69,3 | 31    | 30,7 |
| Meraların yeterliliği                             | 31   | 30,7 | 70    | 69,3 |
| Ormancılık faaliyetlerinden memnuniyet            | 13   | 12,9 | 88    | 87,1 |
| YHGS* ilan süreçlerinde bilgilendirilme durumu    | 24   | 23,8 | 77    | 76,2 |
| YHGS ilan edilmesinin gerekli olduğu düşüncesi    | 25   | 24,8 | 76    | 75,2 |
| YHGS kararından dolayı gelir kaybı kaygısı        | 76   | 75,2 | 25    | 24,8 |
| YHGS kararından dolayı ek gelir beklentisi        | 1    | 1,0  | 100   | 99,0 |
| YHGS ile ilgili yasal düzenlemeler hakkında bilgi | 2    | 2,0  | 99    | 98,0 |

\*YHGS: Yaban hayatı geliştirme sahası

Çizelge 4 Ki-kare ( $X^2$ ) testi sonuçları ve modelde kullanılacak bağımsız değişkenler

| Bağımsız Değişkenler                           | n  | YHGS Kararı Gerekli mi? |      | $X^2$  | p*    |
|--|----|-------------------------|------|--------|-------|
|  |    | Hayır                   | Evet |        |       |
| Aileden göç etme durumu                        |    |                         |      |        |       |
| Hayır  | 75 | 52                      | 23   | 5,471  | 0,014 |
| Evet   | 26 | 24                      | 2    |        |       |
| Hayvancılık yapma durumu                       |    |                         |      |        |       |
| Hayır  | 31 | 17                      | 14   | 10,003 | 0,002 |
| Evet   | 70 | 59                      | 11   |        |       |
| Meraların yeterliliği                          |    |                         |      |        |       |
| Hayır  | 70 | 58                      | 12   | 7,090  | 0,009 |
| Evet   | 31 | 18                      | 13   |        |       |
| YHGS dolayısıyla yaşanacak gelir kaybı kaygısı |    |                         |      |        |       |
| Hayır  | 25 | 15                      | 10   | 4,147  | 0,041 |
| Evet   | 76 | 61                      | 15   |        |       |

\* $p<0,05$



Çizelge 5. Hosmer ve Lemeshow testi sonuçları

| Adım | Ki-kare | sd | p     |
|------|---------|----|-------|
| 1    | 4,443   | 6  | 0,617 |

Çizelge 6. Lojistik regresyon modeli sonucu elde edilen sınıflandırma tablosu

| Gözlenen durum              | Kestirilen durum |      | Doğru sınıflandırma yüzdesi |
|-----------------------------|------------------|------|-----------------------------|
|                             | Hayır            | Evet |                             |
| Hayır                       | 66               | 10   | 86,8                        |
| Evet                        | 14               | 11   | 44,0                        |
| Doğru sınıflandırma yüzdesi |                  |      | 76,2                        |

Çizelge 7’de model değişkenlerinin katsayı tahminleri verilmiş olup yaban hayatı geliştirme sahası kararının gerekliliği algısında; aileden göç etme/etmeme, hayvancılık yapma/yapmama, meraları yeterli bulma/bulmama ve yaban hayatı geliştirme sahası dolayısıyla muhtemel gelir kaybı kaygısı duyma/duymama değişkenlerinin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Çizelge 7’de yer alan  $\text{Exp}(\beta)$  (Exponentiated logistic coefficients) değerleri üstel lojistik regresyon katsayıları olup Odds oranı olarak da ifade edilmektedir. Aileden göç, hayvancılık yapma durumu ve yaşanacak gelir kaybı kaygısının  $\text{Exp}(\beta)$  değerleri 1’den küçüktür. Bu değerler yaban hayatı geliştirme sahası kararının gerekli olduğu algısının görülme veya oluşma olasılığını azaltmaktadır. Örneğin aileden göç etme durumu, bu algıyı 0,180 kat artırmaktadır. Daha açık bir ifadeyle göç etme olgusu ile alanın yaban hayatı geliştirme sahası ilanının gerekliliği arasındaki ilişkinin yönü negatiftir. Benzer şekilde hayvancılık yapma durumu, alanın yaban hayatı geliştirme sahası olmasındaki gereklilik algısını 0,355 kat artırmaktadır. Aynı durum  $\text{Exp}(\beta)$  değeri 0,167 olarak belirlenen yaşanacak gelir kaybı kaygısı değişkeninde de görülmektedir. Meraların yeterliliği konusunda ise durum tam tersidir. Yani meraların yeterli olduğu algısı, yaban hayatı geliştirme sahası ilanının gerekli bulunma algısını 3,941 kat artırmaktadır.

#### 4. Tartışma ve sonuç

Yerel algılar, koruma plan ve projelerinin performansının değerlendirilmesinde önemli bir araçtır. Bu algıların belirlenmesi ile biyolojik çeşitliliğin etkili bir şekilde korunması ve koruma statüsü verilen alanların yakınında yaşayan yerel halkın gönencinin artırılması için daha iyi politikalar geliştirilebilir. Ayrıca koruma girişimlerinin farklı yönlerindeki algıların araştırılması, girişimlerin başarılı ve başarısız olan yönlerinin belirlenmesine de yardımcı olabilir.

Bu çalışmada Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası’nın içinde ve bitişindeki yerleşim birimlerinde ikamet edenlerin, bu sahanın koruma altına alınmasına ilişkin algıları ve bu algıların belirleyicileri araştırılmıştır.

Bir alana koruma statüsü verilmesi, alandan faydalanıcıları yakından ilgilendiren birtakım kısıtlamaları da beraberinde getirmektedir. Bu kısıtlamaların sosyal ve

ekonomik sonuçları bulunmaktadır. Hane halkı gelirlerindeki azalma bu sonuçlara örnek olarak verilebilir. Çalışma sonuçlarına göre de yaban hayatı geliştirme sahası kararından dolayı gelir kaybı kaygısı oluşacağını belirtenlerin oranı yüksek bulunmuştur. Bu kaygıya yaban hayatı geliştirme sahasının herhangi bir ek gelir oluşturmayacağı beklentisi de eşlik etmektedir. Gelir kaybı kaygısı yaşayanların büyük bir bölümü, hane gelirleri arasında hayvancılıktan gelir elde edenlerden oluşmaktadır. Bölgede hayvancılık yaygın bir kırsal uğraşı düzeni olup hane gelirleri arasında önemli bir yeri bulunmaktadır. Özellikle salma hayvancılık uygulamalarının yaygın olduğu bölgede, meralar hem alan hem de nitelik olarak yetersiz görülmektedir. Alkan (2009) ve Akyol vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da benzer bulgulara ulaşılmıştır.

Çalışma sonuçlarına göre, yaban hayatı geliştirme sahası ilanı ile ortaya çıkan kısıtlamalar ve özellikle yerel halk düzeyinde oluşması muhtemel ekonomik temeli kayıplar, yöre halkında yaban hayatı geliştirme sahası kararına yönelik olumsuz algıların oluşmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde Alkan vd. (2009) tarafından Kovada Gölü Milli Parkı sınırları içerisinde yaşayan halkın algılarını belirlemeye yönelik olarak yapılan araştırmada da olumsuz algıların nedeni, gelir kayıpları ile ilişkilidir. Karanth ve Nepal (2012)’de de Hindistan ve Nepal’de korunan alan sınırları içerisinde yaşayan yerel halkın özellikle yaban hayvanlarının tarımsal ürün ve evcil hayvanlara zarar vermesi, dolayısıyla karşı karşıya buldukları gelir kayıplarının, koruma statüsü algıları üzerinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmaya katılan bireylerin büyük bir bölümü olumsuz algılar nedeniyle yaban hayatı geliştirme sahası ilanını gereksiz bulmaktadır. Alkan vd. (2010)’da da Kızıldağ Milli Parkı’nda “milli park ilanı” kararı, yerel halk tarafından benzer şekilde gereksiz olarak değerlendirilmiştir. Bu noktada bir diğer dikkati çeken konu, yaban hayatı geliştirme sahası ilanı öncesinde ve ilan süreçlerinde yerel halkın ilan gerekçeleri, kısıtlamalar, yasal durum, yönetim planı süreci vb. konularda yeterli düzeyde bilgilendirilmemiş olmasıdır. Bilgilendirmelerin yapılmaması da yerel olumsuz algıların oluşmasında etkili olabilmektedir.

Yerel olumsuz algıların oluşmasının belirleyicilerine yönelik olarak yapılan lojistik regresyon analizi sonucunda, aileden göç etme durumu, hayvancılık yapma durumu, meraların yeterliliği ve yaşanacak gelir kaybı kaygısının, bu algıların oluşmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Ailelerinden göç verenler, büyük oranda yaban hayatı geliştirme sahası kararını gereksiz olarak nitelendirmektedir. Hayvancılık yapanlarda da aynı durum söz konusudur. Meraları yetersiz bulanlar da aynı şekilde bu kararı gereksiz görerek, önceki bulguları desteklemektedir. Son olarak yaban hayatı geliştirme sahası kararından dolayı gelir kaybı kaygısı da bu olumsuz algıların oluşmasında etkilidir. Kısaca olumsuz algıların oluşmasında ekonomik içerikli kaygılar etkili olmaktadır.

Çizelge 7. Model değişkenlerinin katsayı tahminleri

| Değişkenler                                     | $\beta$ | Stand.hata | Wald  | sd | p**   | $\text{Exp}(\beta)$ |
|---|---------|------------|-------|----|-------|---------------------|
| Aileden göç etme durumu*                        | -1,717  | 0,834      | 4,238 | 1  | 0,040 | 0,180               |
| Hayvancılık yapma durumu*                       | -1,036  | 0,592      | 3,064 | 1  | 0,080 | 0,355               |
| Meraların yeterliliği*                          | 1,372   | 0,662      | 4,295 | 1  | 0,038 | 3,941               |
| YHGS dolayısıyla yaşanacak gelir kaybı kaygısı* | -1,788  | 0,643      | 7,729 | 1  | 0,005 | 0,167               |
| Sabit   | -0,566  | 0,664      | 0,728 | 1  | 0,394 | 1,762               |

\*Hayır:0, Evet:1, \*\*p&lt;0,05

Koruma statülerinin verildiği alanlarda kısıtlamalardan kaynaklı oluşması muhtemel ekonomik ve sosyal kayıpların önlenmesi için farklı gelir kaynakları oluşturabilecek alternatif uğraşı düzenlerinin kurulmasını teşvik edecek uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır. He ve Su (2022) tarafından Çin’de yapılan bir çalışmada yerel halk için alternatif gelir kaynaklarının oluşturulmasının ekonomik ve sosyal sonuçları analiz edilerek olumsuz korunan alan-insan ilişkilerine çözüm olabileceği belirtilmiştir. Bu bağlamda alternatif gelir kaynakları katılımcı bir yaklaşımla geliştirilmeli, özellikle alanın yönetim ve gelişme planı ve bu planın alt uygulama plan/projelerinde yer almalı ve uygulamalarda etkili bir izleme ve değerlendirme süreci yürütülmelidir. Ancak bu şekilde koruma hedeflerine ulaşmak mümkün olabilecek ve kaynak değerleri ile sosyo-ekonomik yapının sürdürülebilirliği sağlanabilecektir. Özellikle korunan alan yöneticileri-yerel halk ilişkilerinde karar alma süreçlerindeki iletişim ve yeterli halk katılımının sağlanması, saygı ve güvene dayalı ilişkilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynayacaktır (Phoonjampa vd., 2023).

Yaban Hayatı Koruma ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları ile İlgili Yönetmelik’in 13. maddesinde “*Yaban hayatı koruma ve geliştirme sahalarında, yönetim ve gelişme planlarında yer alan faaliyetler ve yapılaşmalar dışındaki faaliyetler ve yapılaşmalara izin verilemez, ...*” şeklinde yasaklanan faaliyetler düzenlenmiş ve yönetim ve gelişme planlarının önemine dikkat çekilmiştir (YHGSY, 2004). Geçmişte Kızıldağ Milli Parkı Uzun Devreli Gelişme Planının zamanında yapılamaması nedeniyle ortaya çıkan sorunlar halen tam anlamıyla çözüme kavuşturulamamıştır (Korkmaz, 2023). Sorunların devam etmesi bu olumsuz algıların artmasına neden olmakta ve hem sosyo-ekonomik hem de ekolojik kaynak değerlerinin korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine zarar verebilmektedir (Korkmaz vd., 2005). Bundan dolayı sosyo-ekonomik olarak ortaya çıkan yahut çıkması muhtemel sorunların çözüme kavuşturulması için alanın yönetim ve gelişme planının bir an önce uygulamaya konulması gerekmektedir.

#### Açıklama

Desteklerinden dolayı, Tarım ve Orman Bakanlığı 8. Bölge Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Aagesen, D., 2000. Rights to land and resources in Argentina's Alerces National Park. *Bulletin of Latin American Research*, 19(4): 547-569.
- Akbulut, G., Atmış, E., Günşen, H. B., 2015. Farklı ilgi gruplarının milli park algıları üzerine bir değerlendirme: Küre Dağları Milli Parkı örneği. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 15(1): 133-145.
- Akyol, A., Türkoğlu, T., Bekiroğlu, S., Tolunay, A., 2018. Resident perceptions of livelihood impacts arising from the Kızıldağ National Park, Turkey. *Environ. Dev. Sustain.*, 20, 1037-1052.
- Alkan, H., 2009. Negative impacts of rural settlements on natural resources in the protected areas: An example from Kovada Lake National Park. *Journal of Environmental Biology*, 30(3): 363–372.
- Alkan, H., Ersin, M.Ö., 2018. Korunan doğal alanlarda insan-yaban hayatı çatışması. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3): 284-292.

- Alkan, H., Korkmaz, M., Tolunay, A., 2009. Assessment of primary factors causing positive or negative local perceptions on protected areas. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(1): 20-27.
- Alkan, H., Korkmaz, M., 2009. Korunan alanların yönetiminde yaşanan sosyo-ekonomik odaklı sorunlara ilişkin bir değerlendirme. II. Ormanlıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi, 19-21 Şubat, Isparta, s.13-22.
- Alkan, H., Korkmaz, M., McGill, D. W., Eker, M., 2010. Conflicts in benefits from sustainable natural resources management: Two diverse examples from Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 31:87-96.
- Anderson, M.K., Barbour, M.G., 2003. Simulated indigenous management: A new model for ecological restoration in national parks. *Ecological Restoration*, 21(4): 269-277.
- Arıkan, F., 2011. Konya Bozdağ Yaban Hayatı Geliştirme Sahası’ndaki Anadolu Yaban Koyunlarında (*Ovis gmelinii anatolica*) biyokimyasal kan parametreleri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atasoy, D., 2001. Lojistik regresyon analizinin incelenmesi ve bir uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sivas.
- Baş, T., 2010. Anket. Seçkin Yayıncılık, Ankara
- Buğdaycı, İ., Varlık, A., Mutlu F., 2019. İnsansız hava aracı kullanılarak Anadolu Yaban Koyunlarının popülasyonunun belirlenmesi: Konya- Bozdağ Bölgesi. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2): 882-891.
- ÇOB, 2009. Ardahan Posof Yaban Hayatı Geliştirme Sahası Gelişme ve Yönetim Planı. DKMP, Ardahan İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Ardahan.
- Çokluk, Ö., 2010. Lojistik regresyon analizi: kavram ve uygulama. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri*, 10(3): 1357-1407.
- Daim, M.S., Bakri, A.F., Kamarudin, H., Zakaria, S.A., 2011. Being neighbour to a national park: Are we ready for community participation? *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 36: 211-220.
- DKMP, 2024. Yaban hayatı geliştirme sahaları, <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Menu/32/Yaban-Hayati-Gelistirme-Sahalari>, Erişim: 26.04.2024.
- He, S., Su, Y., 2022. Understanding residents’ perceptions of the ecosystem to improve park–people relationships in Wuyishan National Park, China. *Land*, 11:532.
- Hidle, K., 2019. How national parks change a rural municipality’s development strategies - The Skjak case, Norway. *Journal of Rural Studies*, 72: 174-185.
- IUCN SSC, 2020. What is Human-Wildlife Conflict? International Union for Conservation of Nature (IUCN) Species Survival Commission (SSC) Human-Wildlife Conflict Task Force. <https://www.hwctf.org/>, Erişim: 05/07/2024.
- Karant, K. K., Nepal, S. K., 2012. Local residents perception of benefits and losses from protected areas in India and Nepal. *Environmental Management*, 49: 372-386.
- Koca, R., Güney, İ., Öncü, M.A., Somuncu, M., 2016. Korunan alanlarda etkili planlama ve sürdürülebilir alan yönetimi üzerine Kaçkar Dağları Milli Parkı’nın incelenmesi. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 13-14 Ekim, Ankara, s. 771-778.
- Korkmaz, M., 2023. Sustainable management of local livelihoods and ecological functions: An assessment on boundaries of natural protected areas. In: *Sustainable Approaches in Forestry* (Eds: Şen, G., Güngör E.). Duvar Publishing, New York, pp. 5-20.
- Korkmaz, M., Tolunay, A., Alkan, H., 2005. Korunan alanların uzun devreli gelişme planlarının hazırlanmasında kırsal yerleşimlerin sosyoekonomik yapısının önemi. *Korunan Doğal Alanlar Sempozyumu*, 8-10 Eylül, Isparta, s. 199-202.
- Mukherjee, A., 2009. Conflict and coexistence in a national park. *Economic and Political Weekly*, 44(23): 52-59.

- Mutluer, C., Büyükkıdık, S., 2017. PISA 2012 verilerine göre matematik okuryazarlığının lojistik regresyon ile kestirilmesi. Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 46: 97-112.
- Oğurlu, İ., 2008. Yaban hayatı kaynaklarımızın yönetimi üzerine. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 9(2): 35-88.
- Phoonjampa, R., Srirattanaporn, S., Phumanee, W., Pierrefeu, C., Singh, R., Ong, E.J., 2023. Exploring local communities' perceptions of protected area authorities: a case study from Khlong Lan National Park and Mae Wong National Park in Thailand. Front. Conserv. Sci., 4:1298768.
- Tabakan, G., Avcı, O., 2021. Vergiye gönüllü uyumu etkileyen faktörlerin lojistik regresyon analizi ile belirlenmesi. Sosyoekonomi, 29(48): 541-561.
- Tokatlı, C., Gürbüz, E., 2014. Enez ilçesi ve Yeni Karpuzlu beldesi yerel halkının (Edirne) Gala Gölü Milli Parkı algılarının sosyoekonomik ve ekolojik açıdan değerlendirilmesi. Uluslararası Sosyal ve Ekonomik Bilimler Dergisi, 4(2): 1-5.
- Trakolis, D., 2001. Perceptions, preferences, and reactions of local inhabitants in Vikos-Aoos National Park, Greece. Environmental Management, 28: 665-676.
- Turan, N., 1984. Türkiye'nin Av ve Yaban Hayvanları-Memeliler, T.C. Orman Bakanlığı, Ankara
- YHGSY, 2004. Yaban Hayatı Koruma ve Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları ile İlgili Yönetmelik, Resmî Gazete No: 25637.

## Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi

Mustafa Kadir Yalman<sup>a</sup>, İlkay Atar<sup>a,\*</sup>, Fatih Mengeloğlu<sup>a</sup>

**Özet:** Bu çalışmada; epoksi- doğal lif kompozitlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine lif türü, güçlendirici malzeme yapısı ve kullanılan liflerin alkali ile modifikasyonu işleminin etkileri incelenmiştir. Güçlendirici malzeme olarak; dokuma ve dokuma olmayan (keçe) yapıdaki tekstil yüzeyler kullanılmıştır. Kullanılan güçlendirici malzemeler kenevir ve jüt liflerinden elde edilmiştir. Liflere %5 NaOH solüsyonunda modifikasyon işlemi uygulanmıştır. Kompozit örnekler; vakum infüzyon yöntemi ile 8 farklı kombinasyonda üretilmiştir. Üretilen örneklerin; çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci, su alma özellikleri ve yoğunluk değerleri ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda; üretilen kompozitlerde dokuma kumaş kullanımı ile keçe kullanımına kıyasla daha yüksek çekme, eğilme ve darbe direnci tespit edilmiştir. Buna karşılık dokuma kumaş ile üretilen kompozitler daha yüksek oranda su alma özellikleri göstermiştir. Dokuma kumaş ile üretilen kompozitler incelendiğinde; kenevir lifi içeren örneklerin, jüt lifi içeren örneklerle göre daha yüksek mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Keçe ile üretilen kompozitlerde ise; jüt lifi içeren örnekler, kenevir lifi içeren örneklerle göre daha yüksek mekanik özellikler sergilemiştir. Kompozit üretiminde vakum infüzyon yönteminin kullanılması ve diğer değişkenlerin etkisi sonucunda elde edilen grupların matris/güçlendirici malzeme oranı sabit tutulamamıştır. Alkali modifikasyonu ve keçe kullanımı sonucunda üretilen kompozitlerin içerdiği güçlendirici malzeme oranında azalma meydana gelmiştir. Kompozit örneklerin içerdiği güçlendirici malzeme oranının yükselmesiyle kompozitlerin mekanik özelliklerinin yükseldiği, bununla birlikte su alma özelliklerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alkali işlem, Doğal lifler, Epoksi, Kenevir, Jüt, Teknik tekstil

## Effect of various reinforcements modified with sodium hydroxide on mechanical and physical properties of epoxy based composites

**Abstract:** In this study; physical and mechanical properties of epoxy-natural fibre composites were investigated in relation to fibre type, reinforcement structure and alkali modification of the fibres. Woven and non-woven (mat) textile surfaces were used as reinforcing materials. The reinforcement used consists of hemp and jute fibres. Modification process was applied to the fibres in 5% NaOH solution. Composite samples were produced in 8 different combinations by vacuum infusion method. Tensile strength, modulus of elasticity in tension, elongation at break, flexural strength, modulus of elasticity in bending, impact resistance, water absorption properties and density values were investigated. As a result of the study, higher tensile, flexural and impact resistance was determined in the composites produced with the use of woven fabric compared to the use of mat. On the other hand, composites produced with woven fabrics showed higher water absorption properties. When the composites produced with woven fabrics were examined; it was observed that the samples containing hemp fibre exhibited higher mechanical properties than the samples containing jute fibre. In the composites produced with mat; the samples containing jute fibre exhibited higher mechanical properties than the samples containing hemp fibre. The matrix/reinforcement ratio of composites manufactured could not be kept constant as a result of the use of vacuum infusion method in composite production and the effect of other variables. As a result of alkali modification and usage of mat, it was found that the reinforcement ratio of composites decreased. It was observed that the mechanical properties of composites improved with the increase in the reinforcement ratio, as well as the water absorption properties of the composites.

**Keywords:** Alkali treatment, Natural fibres, Epoxy, Hemp, Jute, Technical textiles

### 1. Giriş

Kompozitler; iki veya daha fazla bileşenin bir araya getirilerek oluşturulduğu malzemelerdir. Kompozit malzemeler genellikle matris ve güçlendirici malzemedir oluşur. Kompozit üretiminde; kompozit malzemenin içeriğindeki bileşenlerin iyi özelliklerin bir araya getirilmesi ile birlikte, ortaya çıkan malzemenin istenen fiziksel ve

mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanır (Saba vd., 2019). Kompozit malzemeler geleneksel malzemelerle karşılaştırıldığında yüksek mekanik özelliklerle birlikte hafiflik ve düşük yoğunluk gibi avantajlar sağlarlar (Ahmed vd., 2006).

Epoksi; ısı ile kürleşen bir termoset polimerdir. Genellikle; reçine ve sertleştirici olarak iki komponent halinde kullanılır. Bu komponentlerin belirtilen oranlarda

✉ <sup>a</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46050, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): iatar@ksu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 14.05.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 17.07.2024



**Citation** (Atıf): Yalman, M.K., Atar, İ., Mengeloğlu, F., 2024. Epoksi esaslı kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine sodyum hidroksit ile modifiye edilmiş farklı güçlendirici malzemelerin etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 290-301.  
DOI: [10.18182/tjf.1483740](https://doi.org/10.18182/tjf.1483740)

karıştırılması ile ısı açığa çıkan bir reaksiyon oluşur ve reçine kürleşerek katı hale geçer (Saba vd., 2015). Epoksi reçineler; yalıtım, kaplama, laminasyon, denizcilik, elektronik, uzay ve havacılık, inşaat sektörü ve kompozit üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (Jin vd., 2015). Bununla birlikte yüksek mekanik, fiziksel, termal özellikler, kimyasal direnç ve boyutsal stabilite özellikleri göstermektedir (Song vd., 2000; Chozhan vd., 2007; Jawaid ve Abdul Khalil, 2011; Li ve Zhang 2011; Mishra ve Biswas, 2013).

Doğal lifler; selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşan malzemelerdir (Thakur ve Thakur, 2014). Bu malzemeler; elde edildiği bitkinin yaprak, tohum, sak, meyve ve sap gibi çeşitli kısımlarından elde edilebilir ve buna göre sınıflandırılırlar (Pickering vd., 2016). Doğal liflerin yenilenebilir ve biyobozunabilir malzemeler olmasından dolayı, bu malzemelerden elde edilen ürünler çevre dostudur (Saba vd., 2014). Doğal liflerle üretilen kompozitler; düşük yoğunluk, ağırlık, maliyet ve işleme maliyeti, biyolojik olarak bozunabilir olmaları gibi avantajlarının yanı sıra yüksek eğilme direnci sergilerler (Petchwattana ve Covavisaruch, 2014). Doğal lifler çoğunlukla ucuz olup doğada bol miktarda bulunmaktadır. Aynı zamanda, biyolojik olarak bozunmayan termoset ve termoplastik matris malzemeleriyle karıştırılarak kompozit üretiminde güçlendirici malzeme olarak kullanılabilirler (Ashori, 2008). Bu doğal liflerden en çok kullanılanlar arasına jüt ve kenevir gelmektedir.

Kenevir dünyanın birçok noktasında üretilen yenilenebilir yıllık bir bitkidir, düşük yoğunluk ve üretim maliyetine sahiptir. Polimer kompozitleri üretiminde güçlendirici olarak kullanılacak en güçlü doğal liflere sahiptir. İçeriğinde; ağırlıkça %55-72 selüloz, %8-19 hemiselüloz, %2-5 lignin ve yağlı bileşenler barındırmaktadır (Thomsen vd., 2000). Jüt; çoğunlukla tekstil sanayinde kullanılan, biyobozunur ve yenilenebilir lifler içeren bir bitkidir. Jüt lifleri yüksek mekanik özellikler, termal izolasyon ve düşük maliyet gibi avantajlar sağlar (Islam ve Alauddin, 2012). İçeriğinde; ağırlıkça % 45-71,5 selüloz, %13,6-21 hemiselüloz, %12-26 lignin ve yağlı bileşenler barındırmaktadır (Selver vd., 2017; Sinha vd., 2017).

Kompozitlerde iyi mekanik özellikler için, elyaf ve matris arasında güçlü bir bağ oluşturulması gerekmektedir. Doğal liflerin yüksek hidrofilik özellikleri, hidrofobik olan polimer matrislerle olan uyumluluğun azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, lif yüzeylerinin modifikasyonu, performanslarının iyileştirilmesi için önemlidir (Mohanty vd., 2018).

Dolgu maddelerinin ağartma, yıkama, alkali ve peroksit işlemi ve silan bağlayıcı maddelerin kullanımı gibi yüzey modifikasyonları, üretilen kompozitlerin daha iyi özellikler kazanmasını sağlamıştır (Weikart vd., 1999). Yüzeyin bu şekillerde işleme tabi tutulması matris – güçlendirici arasındaki uyumu arttırmaya yardımcı olur (Bahrami vd., 2020). Alkali işlemi selüloz üzerindeki hidrojen bağına etki ederek liflerin çapını azaltır ve bu sayede yüzey alanını artırır. Bu işlem aynı zamanda hemiselüloz, lignin, pektin ve yağ gibi maddeleri lif yüzeyinden önemli ölçüde ayırır. Bunun sonucu olarak mikro fibrillerin ortaya çıkmasıyla liflerin matris ile yaptığı bağ iyileşerek matris ve güçlendirici malzeme arasında daha güçlü bir bağ oluşur (Ray vd., 2001; Li vd., 2007; Mwaikambo vd., 2007; Bhoopathi ve Ramesh, 2020).

Bu çalışmada; kenevir ve jüt liflerinden elde edilen keçe ve dokuma kumaşlar güçlendirici malzeme olarak kullanılmıştır. Matris olarak termoset bir polimer olan epoksi reçine kullanılmıştır. Güçlendirici liflere %5 NaOH solüsyonunda alkali işlem uygulanmıştır. Kompozit örnekler; vakum infüzyon yöntemi ile 8 farklı kombinasyonda üretilmiş ve testleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada jüt ve kenevir bitkilerinden elde edilen lifler güçlendirici malzeme (Dokuma kumaş ve Keçe) olarak kullanılmıştır. Kompozit üretimi için kullanılan 250g/m<sup>2</sup> kenevir dokuma kumaş Asghamangal gift & craft firmasından, 200g/m<sup>2</sup> jüt dokuma kumaş ise Kahramanmaraş'ta özel bir firmadan tedarik edilmiştir. Keçe üretimi için kullanılan kenevir lifleri Kahramanmaraş'ta özel bir firmadan alınmıştır. Jüt keçelerin üretiminde kullanılan lifler; tedarik edilen jüt kumaşlardan kesilerek elde edilmiştir. Kompozit üretiminde; matris olarak epoksi reçine kullanılmıştır. Kullanılan matris; çift komponentli L/H-160 infüzyon epoksi reçinesi olup Dost Kimya firmasından temin edilmiştir. Bu epoksi sistemi L-160 reçine ve H-160 sertleştiriciden oluşmaktadır. Üretilen kompozit levhalar, ASTM standartlarına göre belirtilen ölçülerde kesilip fiziksel ve mekanik testleri yapılmıştır. Çizelge 1'de elde edilen kompozitlerin üretim reçetesi verilmiştir. Üretim reçetesine göre 8 farklı kompozit üretilmiş olup: JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş) kısaltmalarının açıklamalarıdır.

### 2.1. Liflere uygulanan alkali işlemi

Bu çalışmada; kompozit üretiminden önce, kenevir ve jüt lifleri alkali ile modifiye edilmiştir. Alkali işlemi için ağırlıkça %5 oranında saf suya katılan, NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi kullanılmıştır. Bu işlem için lifler oda sıcaklığındaki çözeltide 24 saat bekletilmiştir. Süre sonunda kumaş ve lifler saf su ile yıkanmıştır. Alkali işleminden sonra kumaş ve lifler, düz bir cam yüzeyine serilmiştir ve 60°C sıcaklığa ayarlanan etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur.

### 2.2. Doğal lifler ile keçe (Non-Woven) kumaş üretimi

Kompozit üretiminde kullanılan keçeler, metrekafe ağırlığı 250g olacak şekilde özel bir düzenele üretilmiştir. Odunsu kısımdan ayrılmış halde elde edilen kenevir lifleri (sak lifi) öncelikle el yardımı ile açılarak artıklardan arındırılmış ve düz bir hale getirilmiştir. Bu lifler daha sonra metal bir fırça ile taranarak daha da düzeltilmiş ve saçaklandırılmıştır. Daha sonra bu lifler keçe üretimi için 5 – 10mm uzunluğunda kesilmiştir. Şekil 1 a'da temin edilen lifler, Şekil 1b'de taranmış lifler ve Şekil 1c'de kesilmiş lifler gösterilmiştir. Jüt lifleri ise taranmaksızın kumaş üzerinden 5 – 10mm uzunlukta kesilmiştir. Daha sonra lifler 60-80°C sıcaklığındaki suyun içerisinde blender kullanılarak karıştırılmış ve lif ile su içeren bir solüsyon elde edilmiştir.

Çizelge 1. Kompozit levhaların üretim reçetesi

| Örnek no | Örnek kod | Lif Türü | Güçlendirici | Yüzey İşlemi |
|----------|-----------|----------|--------------|--------------|
| 1        | JKÇ-A     | Jüt      | Keçe         | Alkali       |
| 2        | JKÇ       | Jüt      | Keçe         | Yok          |
| 3        | JKM-A     | Jüt      | Kumaş        | Alkali       |
| 4        | JKM       | Jüt      | Kumaş        | Yok          |
| 5        | KKÇ-A     | Kenevir  | Keçe         | Alkali       |
| 6        | KKÇ       | Kenevir  | Keçe         | Yok          |
| 7        | KKM-A     | Kenevir  | Kumaş        | Alkali       |
| 8        | KKM       | Kenevir  | Kumaş        | Yok          |

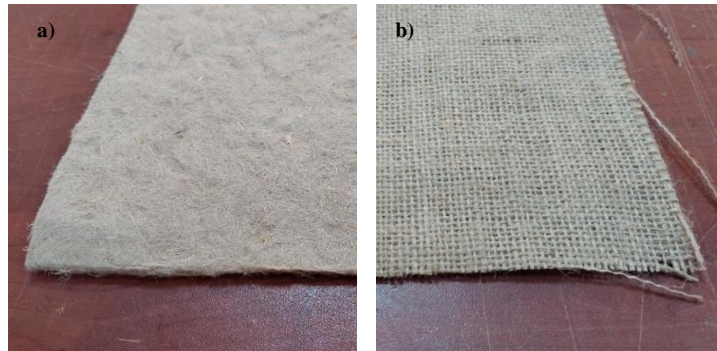
Hazırlanan lif-su karışımı, içerisinde elek bulunan plastik bir kaba dökülmüştür. Keçe üretimi için 60 mesh kalınlığında ve iç kısmı 28x32 cm'lik çerçeveye sabitlenmiş bir elek kullanılmıştır. Bu çerçevenin amacı suyun liflerden uzaklaştırılarak keçenin oluşturulmasıdır. Daha sonra elek yavaşça yukarı kaldırılmış ve lifler sudan ayrılmıştır (Şekil 2). Oluşturulan keçe, bir camın üzerine aktarıldıktan sonra etüvde 24 saat 60°C de kurutulmuştur. Şekil 3a'da üretilen keçe, Şekil 3b'de ise tedarik edilen dokunmuş kumaş gösterilmektedir.



Şekil 1. a) Temin edilen kenevir lifler, b) Taranmış kenevir lifler ve c) Kesilmiş kenevir lifler



Şekil 2. Eleğin üzerinde oluşturulan yüzey

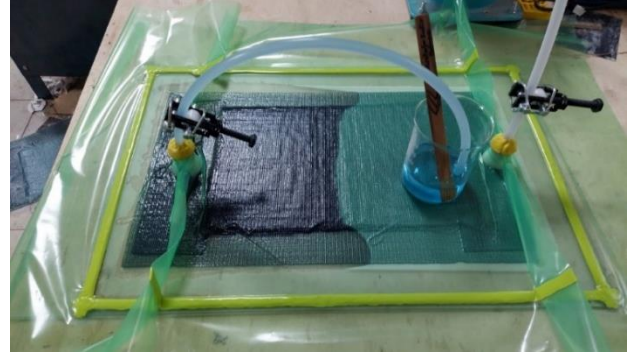


Şekil 3. a) Üretilen keçe, b) Dokunmuş yüzey

### 2.3. Kompozit Örneklerin Üretilmesi

Örnekler vakum infüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu yöntem güçlendirici malzemenin içerisine vakum yardımı ile reçine emdirmeyi ve reçinenin kürleşmesini kapsamaktadır. Kumaş formundaki güçlendirici malzemeler 400x280 mm boyutlarında kesilerek, keçe formundaki güçlendirici malzemeler ise 320x280 mm boyutlarında elde edildikten sonra kompozit örneklerin üretiminde kullanılmıştır. Kalıp olarak 500x400mm boyutundaki cam bir yüzey kullanılmıştır. Kompozit malzemenin kalıptan ayrılması için vaks ve sıvı PVA'dan oluşan bir kalıp ayırıcı sistem uygulanmıştır. Öncelikle cam üzerine kullanılan güçlendirici malzeme yerleştirilmiştir. Güçlendirici malzeme üzerine reçinenin rahat ilerlemesini sağlayacak sarf malzemeler yerleştirilmiştir. Bu sarf malzemeler sırasıyla; soyma kumaşı, infüzyon filesi ve vakum naylonudur. Sarf malzemeleri serildikten sonra, vakum naylonu çerçevenin kenarındaki sızdırmazlık bandına sabitlenmiştir ve kalıp dış ortamdan izole edilmiştir.

Sisteme reçine akışının sağlanması için, kalıp sistemindeki konektörlere infüzyon hortumu bağlanmıştır ve sızdırmazlık bandı yardımı ile sızdırmazlığı sağlanmıştır. L/H160 epoksi seti; reçine ve sertleştirici oranı ağırlıkça 100:25 olacak şekilde tartıldıktan sonra 4 dakika boyunca bir çubuk yardımıyla karıştırılmıştır. Kalıptaki hortumlardan biri reçine kabına, diğeri ise vakum pompasına bağlanmıştır. Sistemdeki hava sızdırmazlığı sağlandıktan sonra vakum pompası ile reçine akışı sağlanmıştır. Bununla birlikte, reçine güçlendirici malzemeye emdirilmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sonra, sistem negatif basınç altında iken dış ortamdan izole edilmesi için kalıbın giriş ve çıkışındaki hortumlar, kelepçe yardımıyla kapatılmıştır. Şekil 4'de vakum infüzyon işlemi ile kompozit levha üretimi görülmektedir.



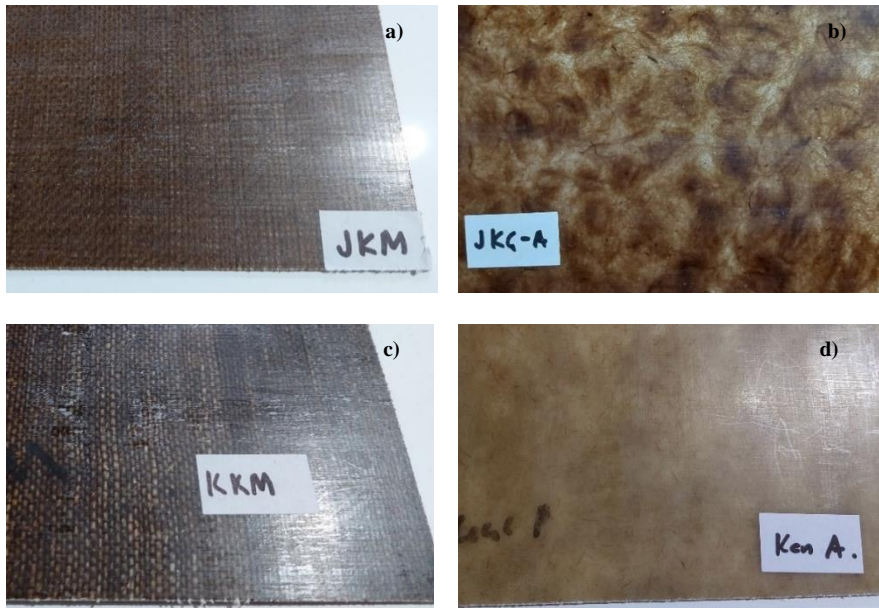
Şekil 4. Vakum infüzyon işlemi

Reçinenin tamamen kürleşmesi için kalıp dış ortamdan izole bir şekilde 24 saat bekletilmiştir. Reçinenin kürleşmesi ile birlikte kompozit levhanın üretimi tamamlanmıştır. 24 saatin sonunda kompozit levha sarf malzemeler ve kalıptan ayrılmış, test edilmek üzere uygun ebatlarda kesime hazırlanmıştır. Şekil 5. a) JKM, b) JKÇ-A, c) KKM ve d)KKÇ-A olmak üzere farklı güçlendirici malzemelerden üretilen levhalar gösterilmektedir.

### 2.4. Örneklerin Testi

Kompozitlerin yoğunlukları ASTM D 792 (2004) standardına uygun olarak yapılmıştır. Örneklerin yoğunluklarının belirlenmesinde 4×13×25 mm boyutlarında 5'er adet numune kullanılmıştır.

Su alma miktarının belirlenmesinde ASTM D 570 98 (2018) numaralı standartta belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Üretilen kompozitler su dolu bir kaptaki, kısa ve uzun süreli olarak bekletilmiştir. Örneklerin ağırlıkları; ilk hafta boyunca her gün, daha sonra birinci ay haftada bir defa ve 6 ay boyunca ayda bir defa ölçülmüştür. Her örnek grubu için 4500 saatlik ölçüm yapılmıştır.



Şekil 5. a, b, c ve d'de farklı güçlendirici malzemelerden elde edilen levhalar [JKM (jüt kumaş), JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), KKM (kenevir kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe)]

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Test numuneleri, ilgili standartlara uygun olarak daire testere yardımı ile kesilmiştir. Eğilme direnci ve elastikiyet modülünün belirlenmesinde ASTM D 790 (2004) standartlarına göre belirtilen esaslara uyulmuştur. Çekme direnci, elastikiyet modülünün ve kopmada uzama belirlenmesinde ASTM D 638 (2004) numaralı standartlarda belirtilen esaslara uyulmuştur. Eğilme ve Çekme testleri Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde, üretilen kompozit levhalardan 2-3x13x165 mm boyutlarında kesilmiş örnekler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Darbe direnci testi ASTM D 256 (2002) standardına göre yapılmıştır. Örneklerin çentikleri Polytest RayRan çentik açma makinesinde açılmış ve testler Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde yapılmıştır.

Üretilen kompozit levhaların güçlendirici malzeme oranları; kompozit levhanın metrekare ağırlığı ile, kullanılan güçlendirici malzemenin metrekare ağırlığı belirlenerek aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır (1).

$$\text{Güçlendirici malzeme oranı} = \frac{\text{Güçlendirici malzeme m}^2 \text{ ağırlığı} \times 100}{\text{Kompozit levha m}^2 \text{ ağırlığı}} \quad (1)$$

### 2.5. Dataların analizi

Elde edilen veriler SPSS (IBM SPSS 20.0) programı kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Levha türü kombinasyonunun fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır. Ayrıca bu grupların ortalamaları arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında, epoksi-doğal lif kompozitlerinin üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve üretilen kompozitlerin su alma miktarı, güçlendirici oranı, çekme, eğilme, darbe dirençleri ve yoğunluk değerleri test

edilmiştir. Test edilen örnekler için belirlenen mekanik ve fiziksel özelliklere ait ortalama değerler Çizelge 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara basit varyans analizi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Belirtilen değerlere ait veriler bar grafiklerinde gösterilmiştir ve bu grafikler Şekil 6, Şekil 7, Şekil 9, Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir. Varyans kaynakları ortalamalarının karşılaştırılması ve homojenlik gruplarının tespit edilmesi amacıyla yapılan Duncan testi sonuçlarına göre yapılan gruplandırmalar bar grafikleri ile birlikte verilmektedir.

Bu çalışmada; yapılan üretimin sonucunda elde edilen grupların farklı oranlarda güçlendirici malzeme içerdiği belirlenmiştir. Bunun sebebi; vakum infüzyon yöntemi ile örnek kalınlığının sabit tutulmaması ve değişkenlerin güçlendirici malzemenin hacminde oluşturduğu farklılıklardır. Vakum infüzyon yöntemi ile yapılan üretimde kompozit levhanın kalınlığını güçlendirici malzeme belirlemektedir. Sabit ağırlık ve alana sahip güçlendirici malzemelerde kalınlık arttıkça yoğunluk azalmış ve boşluk miktarı artmıştır. Boşluk miktarının artmasının sonucunda; vakum infüzyon ile güçlendirici malzemeye çekilen reçinenin miktarı artmış ve güçlendirici malzeme oranı azalmıştır. Güçlendirici malzemedeki boşluk miktarının azalmasıyla ise, güçlendirici malzeme oranında artış görülmektedir. Üretilen kompozit örneklerdeki güçlendirici malzeme oranları Şekil 6’da verilmiştir.

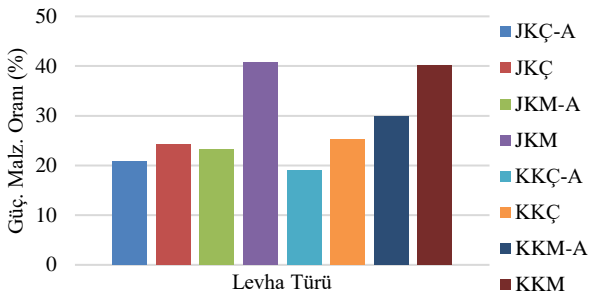
Üretilen kompozitlerde eşit ölçülerde kesilmiş, aynı ağırlıktaki güçlendirici malzemeler kullanılmıştır. Dokuma kumaş ve keçe karşılaştırıldığında, dokuma kumaşın çok daha ince olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda dokuma kumaşlarla üretilen örneklerde daha yüksek güçlendirici malzeme oranı görülmektedir. Liflere uygulanan alkali işleminin güçlendirici malzeme oranını azalttığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak; alkali işleminin lifleri saçaklandırması ve birbirinden ayırması ile güçlendirici malzemenin hacmini ve boşluk oranını artırması olduğu düşünülmektedir. Chaitanya vd. (2016) kompozit üretiminde kullandıkları eşit ağırlıktaki lifleri karşılaştırmış, alkali işlem uygulanan liflerin daha yüksek hacme sahip olduğunu gözlemlemiştir. Güçlendirici malzeme oranının mekanik özelliklere etki ettiği görülmüştür.

Çizelge 2. Kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklere ait ortalama değerler

| Örnek Grubu | Güçlendirici oranı (%) | Çekme direnci (MPa) | Çekmede elastikiyet modülü (MPa) | Kopmada uzama (%) | Eğilme direnci (MPa) | Eğilmede elastikiyet modülü (MPa) | Darbe Direnci (Kj/m <sup>2</sup> ) | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| JKÇ-A       | 20,85                  | 31,54 (7,3)*        | 1187,42 (360,92)                 | 3,07 (0,41)       | 65,26 (16,94)        | 3915,48 (1071,2)                  | 5,401 (3,25)                       | 1,143 (0,03)                  |
| JKÇ         | 24,21                  | 27,88 (5,57)        | 1112,05 (247,05)                 | 2,92 (0,26)       | 62,45 (21,48)        | 4074,12 (1697,3)                  | 3,585 (0,61)                       | 1,160 (0,02)                  |
| JKM-A       | 23,36                  | 38,95 (2,32)        | 1661,03 (84,23)                  | 3,06 (0,13)       | 53,96 (5,2)          | 2880,80 (441,84)                  | 5,438 (0,49)                       | 1,189 (0,01)                  |
| JKM         | 40,64                  | 59,03 (5,08)        | 2495,94 (87,73)                  | 2,83 (0,18)       | 74,63 (12,14)        | 4016,00 (317,56)                  | 8,732 (1,0)                        | 1,199 (0,02)                  |
| KKÇ-A       | 18,93                  | 26,26 (6,22)        | 1158,46 (140,21)                 | 2,74 (0,35)       | 55,37 (7,41)         | 3033,57 (573,92)                  | 5,401 (0,64)                       | 1,173 (0,02)                  |
| KKÇ         | 25,23                  | 25,35 (4,87)        | 1337,31 (154,23)                 | 2,42 (0,28)       | 58,72 (6,74)         | 3489,39 (470,97)                  | 5,207 (0,51)                       | 1,178 (0,02)                  |
| KKM-A       | 29,84                  | 57,88 (8,08)        | 1879,08 (88,47)                  | 4,11 (0,57)       | 92,14 (9,77)         | 4719,95 (356,26)                  | 12,099 (3,08)                      | 1,216 (0,03)                  |
| KKM         | 40,06                  | 64,43 (9,95)        | 2127,83 (138,33)                 | 3,65 (0,36)       | 94,98 (7,26)         | 5050,03 (293,77)                  | 13,096 (1,72)                      | 1,221 (0,01)                  |

\*: Parantez içindeki değerler standart sapmayı ifade etmektedir.





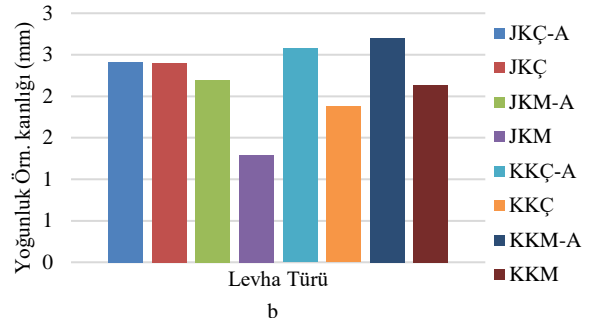
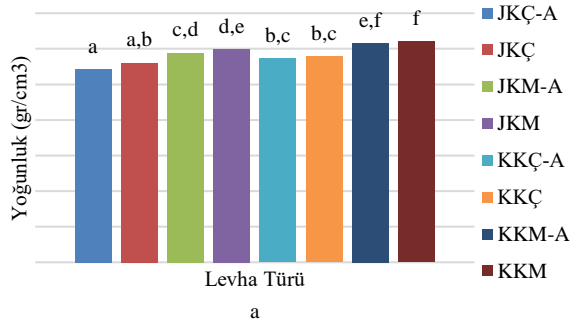
Şekil 6. Güçlendirici malzeme oranı [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Üretilen kompozit levhalardan kesilerek elde edilen örnekler kullanılarak, yoğunluk testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre yoğunluk değerleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Yoğunluk değerlerini gösteren bar grafiği Şekil 7a'da yoğunluk örneklerinin ortalama kalınlıkları ise Şekil 7b'de verilmiştir. Yapılan basit varyans analizine göre; levha türü kombinasyonun yoğunluk değeri üzerine etkili olduğu belirlenmiştir ( $P < 0,001$ ). Test

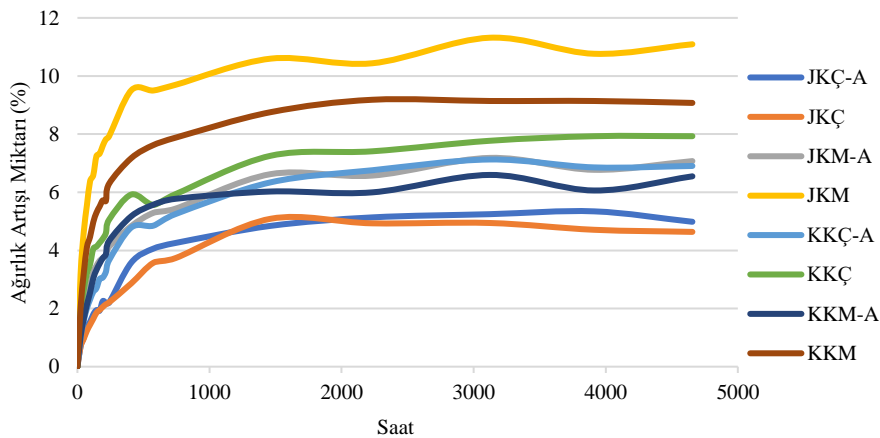
sonuçlarına göre en yüksek yoğunluk değeri  $1,221 \text{ g/cm}^3$  ile KKM örneğinde, en düşük yoğunluk değeri  $1.143 \text{ g/cm}^3$  ile JKÇ-A grubunda bulunmuştur.

Aynı güçlendirici ve lif türü kullanılan örneklerde, alkali işlem ile birlikte yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Kenevir lifi ile üretilen örneklerde, jüt lifi kullanılan örneklere göre daha yüksek yoğunluk değerleri görülmüştür. Bunun sebebinin; kenevir lifinin jüt lifine göre daha yüksek yoğunluğa sahip olmasında kaynaklanmaktadır. Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş kullanılan örneklerde, keçe kullanılan örneklere göre daha yüksek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Kompozit malzeme içerisindeki güçlendirici malzeme oranının yükselmesi ile birlikte örneklerdeki yoğunluğun arttığı gözlemlenmektedir. Literatürde; kompozit örneklerdeki güçlendirici oranının artmasıyla yoğunluk değerlerinde artış belirtilmiştir (Agarwal vd., 2014; Barbhuiya vd., 2016).

Su alma test sonuçlarına göre en yüksek ağırlık artışı JKM örneğinde görülürken en düşük değer JKÇ örneğinde bulunmuştur. Örneklerin 1000 ve 4500 saatlik ağırlık artışı miktarında benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. En yüksek ağırlık artışının birinci ayda olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 8'de su alma özellikleri (%) verilmiştir.



Şekil 7. a) Yoğunluk bar grafiği b) Ortalama yoğunluk örnekleri kalınlığı (mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]



Şekil 8. Su alma özellikleri (%)

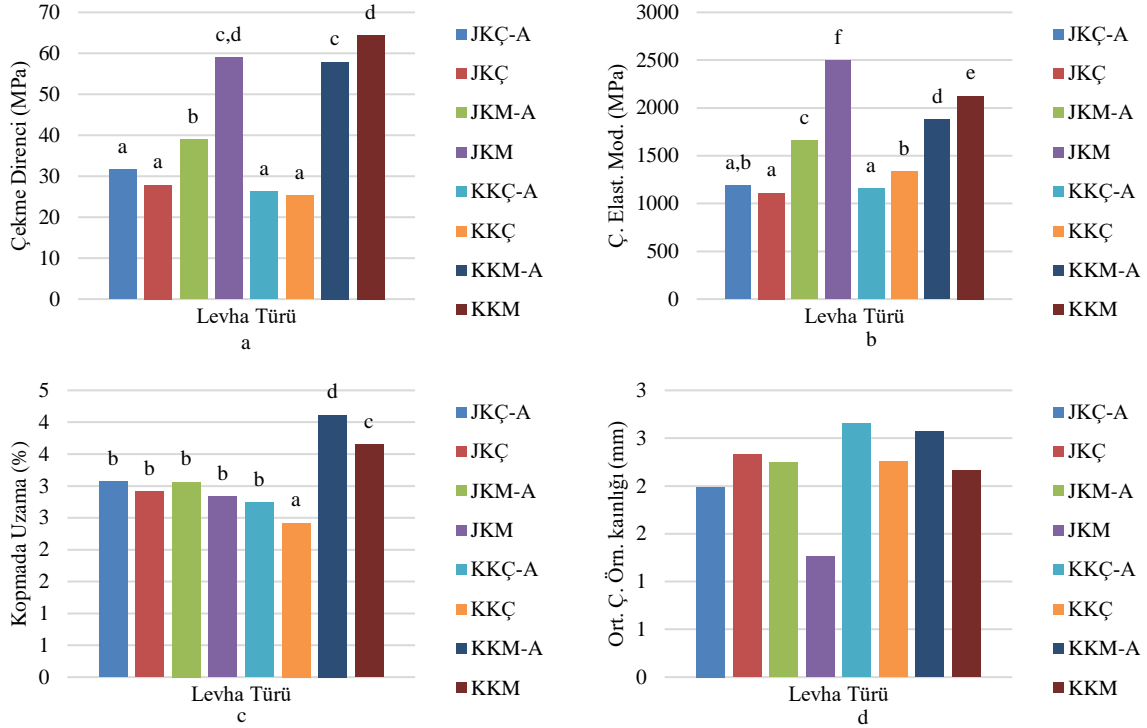
Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş içeren örneklerde keçe içeren örnekler göre daha yüksek oranda ağırlık artışı görülmüştür. Dokuma kumaşlarda bulunan lifler baştan sona kadar kesintiye uğramadan düz bir doğrultuda bulunmaktadır. Güçlendirici malzemenin yapısından dolayı kompozit içerisinde suyun bu doğrultuda daha kolay ve hızlı ilerlediği düşünülmektedir. Keçelerde ise dokunmuş kumaşların aksine lifler dağınıktır ve matris lif yüzeylerini çok daha yüksek oranda sarar. Keçe içeren örneklerde liflerin birbirlerinden daha izole halde olmasından dolayı daha az ağırlık artışı görüldüğü düşünülmektedir. Liflere alkali uygulanan örneklerde, işlem uygulanmayan gruplara göre daha düşük oranda ağırlık artışı görülmüştür. Liflerin saçaklanması ve yüzey alanının artması sonucunda, lifler ile matris arasında daha iyi bir bağ oluşturulmuş ve polimer, liflere daha yüksek oranda nüfuz etmiştir. Polimerin hidrofobik olmasından dolayı suyun kompozit içerisinde liflere daha az nüfuz ettiği düşünülmektedir. Yew vd. (2019) liflere alkali işlemi uygulanan kompozitlerde hiçbir işlem uygulanmayan kompozitlere göre daha düşük su alma oranı görülürken, alkali işlem süresinin artışı ile birlikte su alma miktarının daha da düştüğü belirtilmiştir. Prabhu vd. (2022) alkali işleminin kompozitlerdeki su alma oranını azalttığını raporlamıştır. Test edilen örneklerde güçlendirici oranının artması ile ağırlık artışında yükselme gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin kompozitlerde bulunan daha fazla miktardaki liflerin daha yüksek miktarda su aldığı düşünülmektedir. Barbhuiya vd. (2016) yaptıkları çalışmada örneklerin lif oranı ve boyutunun artması ile su alma miktarında artış gözlemlenmiştir.

Çekme özellikleri kapsamında çekme örneklerinin kalınlığı, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama değerleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Şekil 9a 'da üretilen levhaların çekme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin çekme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek çekme direnci değeri 64,427 MPa ile KKM örneğinde, en düşük çekme direnci değeri 25,345 MPa ile KKÇ örneğinde bulunmuştur. Dokuma kumaş içeren örnekler, keçe içeren örnekler göre daha yüksek çekme direnci göstermiştir. Bunun sebebinin daha düşük örnek kalınlığı sonucu olarak daha yüksek güçlendirici malzeme oranı elde edilmesi olduğu düşünülmektedir. Literatürde; güçlendirici malzeme

oranının artması ile birlikte çekme direncinin de arttığı gözlemlenmiştir (Islam vd., 2012; Scarponi vd., 2012; Barbhuiya vd., 2016; Mehdi vd., 2019; Glória vd., 2017; Kumar ve Anandh, 2017). Bununla birlikte; dokuma kumaş oluşturan lifler üretilen levhanın bir kenarından diğer kenarına kadar uzanmaktadır ve keçeleri oluşturan 10mm uzunluğundaki liflerden çok daha uzundur. Literatürde lif boyutunun artması ile malzemenin çekme direncinin arttığı belirtilmiştir (Barbhuiya vd., 2016). Dokuma kumaş kullanılan kompozitler incelendiğinde; kenevir lifi içeren örnekler, jüt lifi içeren örnekler göre daha üstün çekme direnci sergilemiştir. Literatürde benzer sonuçlar görülmektedir (Kumar ve Anandh, 2017). Dokuma kumaş ile üretilen örneklerde, alkali işleminin çekme direncini düşürdüğü görülmüştür. Bu levhalarda alkali işlemi ile birlikte üretilen levhaların kalınlığı artmıştır ve güçlendirici oranı düşmüştür. Güçlendirici oranının azalması ile birlikte çekme direncinin zayıfladığı düşünülmektedir. Şekil 9d 'de ortalama çekme örnekleri kalınlığı(mm) bar grafiği verilmiştir. Jahan vd. (2020) %5 NaOH solüsyonunda liflere uygulanan alkali işleminin kompozitlerdeki çekme direncini düşürdüğünü raporlamıştır. Bunun sebebi olarak; sodyum hidroksit, liflerdeki hemiselülozu çözmesi olduğunu belirtmiştir.

Keçe içeren gruplarda liflere alkali uygulanan kompozitler daha yüksek özellikler göstermiştir. Liflere alkali işlemi uygulanan kompozitlerde, alkali uygulanmayan kompozitlere kıyasla daha düşük oranda güçlendirici oranı gözükmektedir. Buna rağmen çekme direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiş ve alkali işleminin keçe kullanılan örneklerde çekme direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Literatürde alkali işlemi ile birlikte çekme direncinin yükseldiği belirtilmiştir (Asim vd., 2016; Prabhu vd., 2022).

Aynı tür lif ve güçlendirici türü içeren JKM ve JKM-A örnekleri karşılaştırıldığında çekme direnci, örnek kalınlığı ve güçlendirici oranları arasında çok ciddi bir fark görülmüştür. Bu fark, JKM-A örneğinde liflere uygulanan alkali işlemi ile ortaya çıkmıştır. Şekil 10a'da JKM ve JKM-A kompozitlerinin çekme direnci- çekme örnekleri kalınlığı etkileşim grafiği, b'de ise JKM ve JKM-A kompozitlerinin çekme direnci- güçlendirici oranı etkileşim grafiği verilmiştir. Liflere alkali işlemi uygulanması ile birlikte; çekme direnci örnekleri kalınlığı artarken güçlendirici oranın düşmüştür, bu durum çekme direncinin azalmasına sebep olmuştur.



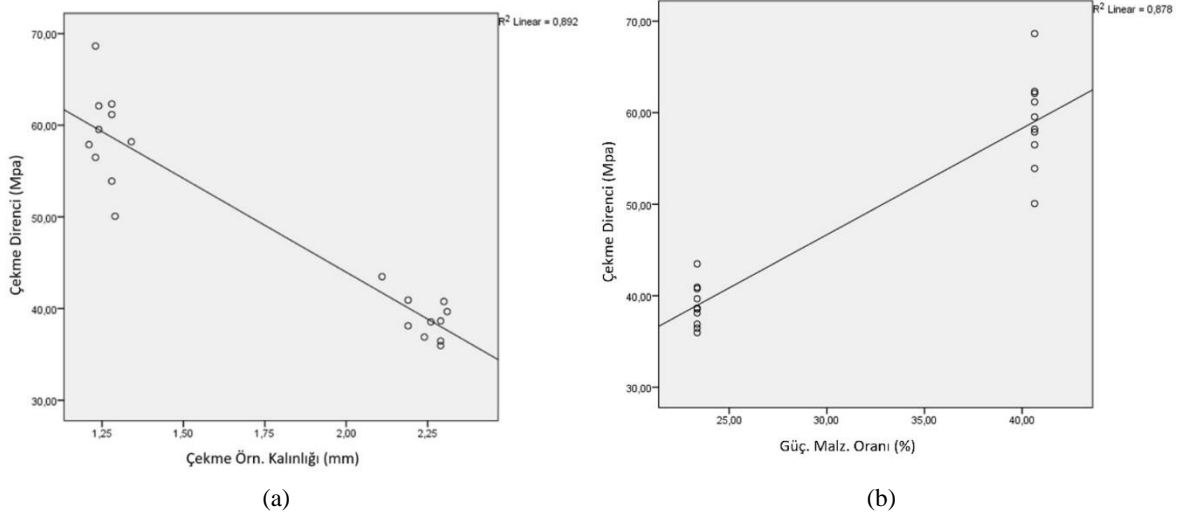
Şekil 9. Çekme özelliklerinin etkileşim grafikleri a) Çekme direnci (MPa) b) Çekmede elastikiyet. mod.(MPa) c) Kopmada uzama(%) d) Ortalama çekme örnekleri kalınlığı(mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Şekil 9b'de üretilen levhaların çekmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin Ç.E.M (çekmede elastikiyet modülü) değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek Ç.E.M değeri 2127,827 MPa ile KKM örneğinde, en düşük Ç.E.M değeri 1112,045 MPa ile JKÇ örneğinde bulunmuştur. Dokuma kumaş kullanımı ile keçe kullanımına göre örneklerdeki güçlendirici malzeme oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Bunun sonucu olarak dokuma kumaş içeren kompozitlerde daha yüksek Ç.E.M değerleri görülmektedir. Alkali işlem ile birlikte çekme örneklerinin kalınlığında artış görülmektedir. Bu durumun sonucunda, güçlendirici malzeme oranı ve Ç.E.M değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Literatürde güçlendirici malzeme oranını artması ile Ç.E.M değerlerinin arttığı raporlanmıştır (Islam vd., 2012; Scarponi vd., 2012; Agarwal vd., 2014; Kumar ve Anandh, 2017; Glória vd., 2017).

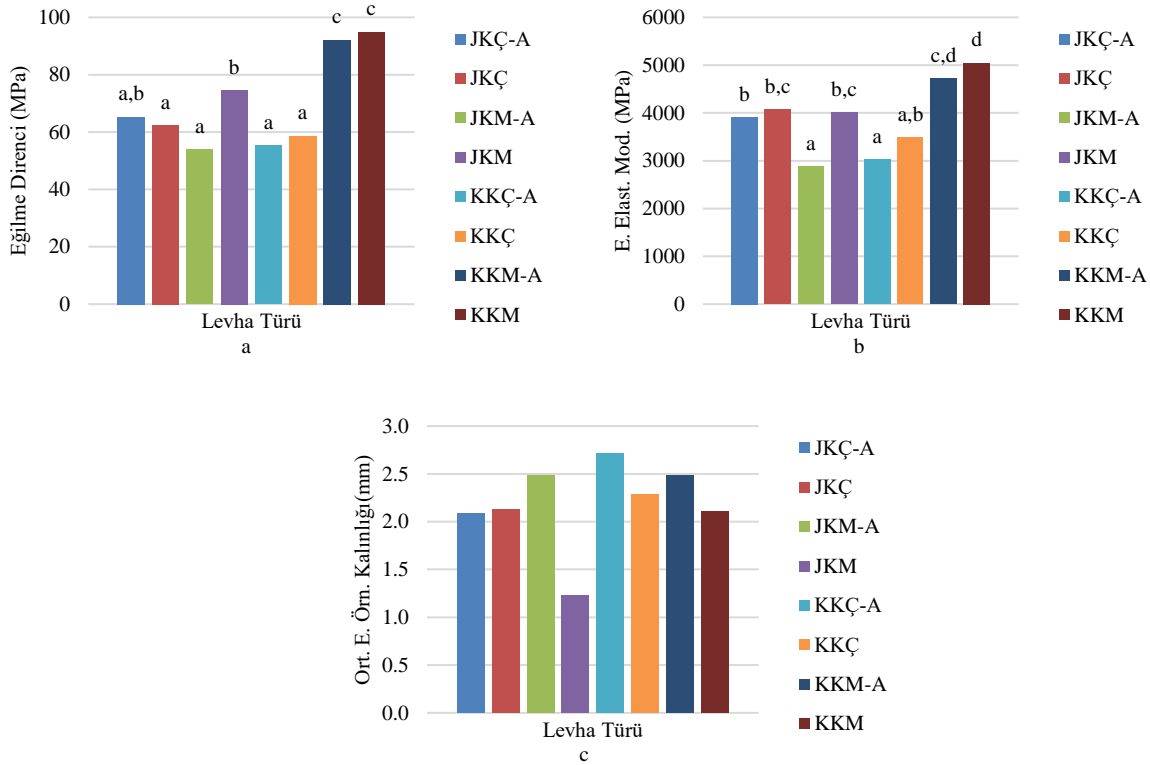
Şekil 9c'de üretilen levhaların kopmada uzama değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin kopmada uzama

değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarında en yüksek kopmada uzama oranı % 4,114 ile KKM örneğinde, en düşük kopmada uzama oranı % 2,421 ile KKÇ örneğinde görülmektedir. Jüt lifi içeren örneklerde kopmada uzama oranlarının benzer olduğu bulunmuştur. Alkali işlem ile birlikte güçlendirici malzeme oranının düşmesi sonucunda kopmada uzama değerlerinde artış görülmüştür. Eğilme direnci ve Ç.E.M değerlerinin aksine; kopmada uzama oranı güçlendirici malzeme oranının artması ile düşmüştür. Literatürde benzer sonuçlar raporlanmıştır (Islam vd., 2012; Mehdi vd., 2019).

Eğilme özellikleri kapsamında eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Örneklerin eğilme direnci değerini gösteren bar grafiği Şekil 11a'da verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek eğilme direnci değeri 94,981 MPa ile KKM örneğinde, en düşük eğilme direnci değeri 53,692 MPa ile JKM-A örneğinde görülmüştür.



Şekil 10. a) JKM ve JKM-A Çekme direnci- Çekme örnekleri kalınlığı etkileşim grafiği b) JKM ve JKM-A Çekme direnci-güçlendirici oranı etkileşim grafiği [JKM (jüt kumaş), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş)]



Şekil 11. Eğilme özelliklerinin etkileşim grafikleri a) Eğilme direnci b) Eğilmeye elastikiyet modülü c) Ortalama eğilme örnekleri kalınlığı (mm) [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

Kenevir lifi ile üretilen kompozitlerde, alkali işlem ile birlikte eğilme direncinin düştüğü görülmüştür. Jahan vd. (2020) alkali işlem ile birlikte eğilme direncinde düşüş raporlamıştır. Güçlendirici türüne bakıldığında; keçe yerine dokuma kumaş kullanımının eğilme direncini arttırdığı görülmüştür. Alkali işlem ve keçe kullanımıyla birlikte eğilme örneği kalınlığında artış görülmüştür. Lif oranı sabit tutulan kompozitlerde örnek kalınlığının artışı ile birlikte güçlendirici oranının azaldığı gözlemlenmektedir. Ortalama

eğilme örnekleri kalınlığı şekil 11c'de verilmiştir. Kompozit malzemedeki güçlendirici malzemenin artışı ile birlikte eğilme direncinin arttığı görülmektedir. Benzer sonuçlar literatürde belirtilmiştir (Islam vd., 2012; Barbhuiya vd., 2016; Kumar ve Anandh, 2017).

Jüt liflerinden elde edilen keçeler ile üretilen kompozitlerde; liflere alkali uygulanan örnek (JKÇ-A) işlem görmemiş örneğe (JKÇ) kıyasla daha yüksek eğilme direnci göstermiştir. Kenevir lif içeren KKÇ-A örneği ise düşük

güçlendirici malzeme oranı ile KKÇ den daha düşük değer sergilemiştir. JKÇ-A ile JKÇ örneklerinin birbirlerine yakın oranda güçlendirici malzeme içerdiği ve benzer örnek kalınlığına sahip olduğu görülmektedir. JKÇ-A örneğinin daha yüksek eğilme direnci göstermesinin alkali işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Alkali işlemi ile birlikte liflerin artan yüzey alanı ile birlikte daha üstün matris-güçlendirici bağı yaptığı düşünülmektedir. Alkali işlem ile birlikte eğilme direncinin yükseldiği literatürde belirtilmiştir (Kumar ve Anandh, 2017).

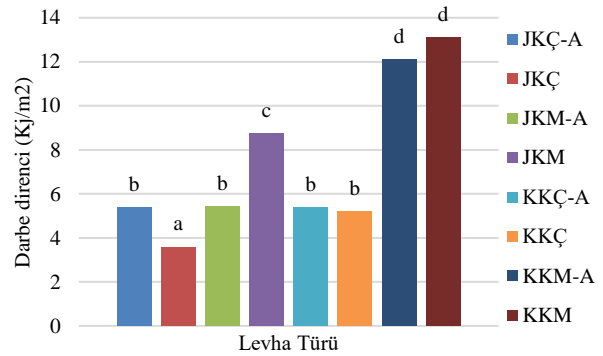
Benzer sonuçlar eğilmede elastikiyet modülü (EEM) değerinde görülmüştür. Şekil 11b'de üretilen levhaların EEM değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin EEM değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek EEM değeri 5050,033 MPa ile KKM grubunda, en düşük eğilmede elastikiyet modülü değeri 2880,803 MPa ile JKM-A grubunda bulunmuştur. Kenevir lifi kullanılan örneklerde alkali işleminin EEM değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin Alkali işlemi ile birlikte güçlendirici oranının azalması olduğu düşünülmektedir. Jüt lifi kullanılan örnekler bakıldığında; JKM-A örneği hariç benzer EEM değerleri görülmektedir. Duncan testine göre bu 3 örnek aynı gruplarda yer almaktadır.

Darbe direnci örnekleri incelenmiş ve bar grafikleri oluşturulmuştur. Örneklerin darbe direnci değerini gösteren bar grafiği Şekil 12'de verilmiştir. Yapılan basit varyans analizi sonucuna göre levha türü kombinasyonlarına ilişkin eğilme direnci değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p < 0,001$ ) farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre en yüksek darbe direnci değeri 13,095 MPa ile KKM grubunda, en düşük darbe direnci değeri 3,585 MPa ile JKÇ grubunda bulunmuştur. Kenevir lifi kullanılan kompozitler, jüt lifi kullanılan kompozitlerden daha üstün darbe direnci göstermiştir. Güçlendirici türü olarak dokuma kumaş içeren örnekler, keçe ile üretilen örnekler göre daha yüksek darbe direnci göstermiştir. Dokuma kumaş içeren örneklerin daha yüksek uzunlukta lif içermesi nedeniyle daha üstün darbe direnci gösterdiği düşünülmektedir.

Alkali işlem ile birlikte güçlendirici oranında düşüş gözlemlenmiştir. Örlümüş kumaş kullanılan örneklerde, alkali işlem ile birlikte güçlendirici oranının düşmesi ile birlikte darbe direnci de azalmıştır. Keçe kullanılarak üretilen örneklerde, alkali işlemi ile birlikte darbe direncinde artış gözlemlenmiştir. Alkali işlemi; dokuma kumaş içeren örneklerin güçlendirici oranları üzerinde, keçe içeren örneklerle karşılaştırıldığında daha etkili olmuştur. Şekil 6'da güçlendirici oranı bar grafiği verilmiştir. Güçlendirici oranı farkının keçe içeren örneklerde daha düşük olması ile birlikte alkali işleminin darbe direncinde daha belirleyici olduğu düşünülmektedir. Dokuma kumaş kullanılan örneklerde alkali işlemi ile birlikte darbe direncinde azalma görülmektedir. Alkali işleminin güçlendirici malzeme oranını düşürdüğü belirlenmiş, bu farkın dokuma kumaş içeren örneklerde çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Güçlendirici malzeme oranı göz önüne alındığında; Güçlendirici malzeme miktarının artışıyla birlikte darbe direncinde de yükselme gözlemlenmiştir. Literatürde benzer sonuçlar görülmüştür (Barbhuiya vd., 2016; Sadaf vd., 2011; Scarponi vd., 2012).

#### 4. Sonuçlar

Kenevir ve Jüt lifleri kullanılarak dokunmamış (keçe) güçlendirici malzemeler elde edilmiş, bununla birlikte tedarik edilen dokunmuş kumaşlar güçlendirici malzeme olarak kullanılmış ve üretim reçetesinde belirlenen gruplara alkali işlem uygulanmıştır. Bu güçlendirici malzemeler kullanılarak vakum infüzyon yöntemi ile epoksi kompozitleri üretilmiştir. Elde edilen gruplarda güçlendirici malzeme miktarları sabit tutulmamıştır. Kullanılan güçlendirici malzeme türü ve uygulanan alkali işlem elde edilen kompozitlerin güçlendirici malzeme oranına etki etmiştir. En yüksek güçlendirici malzeme oranları %40,06 ile KKM ve %40,64 ile JKM örneklerinde görülmüştür. Alkali işlem uygulaması ve keçe kullanımı ile kompozitlerin güçlendirici malzeme oranında azalma görülmüştür. Güçlendirici malzeme oranının yükselmesi ile daha yüksek mekanik özellikler gözlemlenmiştir. En yüksek çekme direnci, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri KKM örneğinde görülmüştür. Buna karşılık en yüksek çekmede elastikiyet modülü değeri JKM örneğinde, en yüksek kopmada uzama değeri ise KKM-A örneğinde görülmüştür. Üretilen gruplardaki güçlendirici malzeme oranlarının yükselmesi ile su alma özellikleri de yükselmiştir. Bu değerler 1000. saat sonuna kadar önemli derecede yükselirken, 1000. ila 4500. saatler arasında önemli değişiklikler gözlemlenmemiştir. Alkali modifikasyonu ve keçe kullanımı ile birlikte su alma özellikleri azalmıştır. En yüksek su alma özelliği JKM grubunda gözlemlenmiştir.



Şekil 12. Darbe direnci bar grafiği [JKÇ-A (alkali uygulanmış jüt keçe), JKÇ (Jüt Keçe), JKM-A (alkali uygulanmış jüt kumaş), JKM (jüt kumaş), KKÇ-A (alkali uygulanmış kenevir keçe), KKÇ (kenevir keçe), KKM-A (alkali uygulanmış kenevir kumaş) ve KKM (kenevir kumaş)]

## Açıklama

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri koordinasyon Birimi tarafından “2021/3-21D Doktora Projesi” kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Agarwal, K., Agarwal, K. K., Roy, S., 2014. Investigations on physical and mechanical properties of short jute fiber reinforced epoxy composites. *Frontiers in Manufacturing Engineering*, 2(1): 1–7.
- Ahmed, K. S., Vijayarangan, S., Rajput, C., 2006. Mechanical behavior of isothalic polyester-based untreated woven jute and glass fabric hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25(15): 1549–1569.
- Ashori, A., 2008. Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Bioresource Technology*, 99(11): 4661–4667.
- Asim, M., Jawaid, M., Abdan, K., Ishak, M. R., 2016. Effect of alkali and silane treatments on mechanical and fibre-matrix bond strength of kenaf and pineapple leaf fibres. *Journal of Bionic Engineering*, 13(3): 426–435.
- ASTM D 256, 2002. Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 570-98, 2018. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 638, 2004. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D 790, 2004. Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA, USA.
- ASTM D 792, 2004. Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Bahrami, M., Abenojar, J., Martinez, M. Á., 2020. Recent progress in hybrid biocomposites: mechanical properties, water absorption, and flame retardancy. *Materials*, 13(22): 5145.
- Barbhuiya, A. H., Choudhury, S. U., Ismail, K., 2016. Characteristics of murta bast fiber reinforced epoxy composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(43): 1–9.
- Bhoopathi, R., Ramesh, M., 2020. Influence of eggshell nanoparticles and effect of alkalization on characterization of industrial hemp fibre reinforced epoxy composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(8): 2178–2190.
- Chaitanya, A. K., Babu, D. K., Narendra, K. B., Sumanth, K., 2016. Investigation on the mechanical properties of banana fiber reinforced polyester composites. *International Journal of Engineering Research and Application*, 6(9): 76–82.
- Chozhan, C. K., Alagar, M., Sharmila, R. J., Gnanasundaram, P., 2007. Thermo mechanical behaviour of unsaturated polyester toughened epoxy–clay hybrid nanocomposites. *Journal of Polymer Research*, 14(4): 319–328.
- Glória, G. O., Teles, M. C. A., Lopes, F. P. D., Vieira, C. M. F., Margem, F. M., Gomes, M. de A., Monteiro, S. N., 2017. Tensile strength of polyester composites reinforced with PALF. *Journal of Materials Research and Technology*, 6(4): 401–405.
- Islam, M. R., Beg, M. D. H., Gupta, A., 2012. Characterization of alkali-treated kenaf fibre-reinforced recycled polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(7): 909–932.
- Islam, M. S., Alauddin, M., 2012. World production of jute: A comparative analysis of Bangladesh. *International Journal of Management and Business Studies*, 2(1): 14–22.
- Jahan, E., Akter, M., Hasan, M., 2020. Effect of fibre ratio and chemical treatment on the properties of pineapple leaf and betel nut husk fibre-reinforced hybrid polypropylene composites. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 6(3): 637–646.
- Jawaid, M., Abdul Khalil, H. P. S., 2011. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 86(1): 1–18.
- Jin, F.-L., Li, X., Park, S.-J., 2015. Synthesis and application of epoxy resins: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 29(1): 1–11.
- Kumar, Y., Anandh, N., 2017. Fabrication and analysis of Jute/Hemp reinforced fiber. *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 3(6): 982–990.
- Li, J., Zhang, J. G., 2011. The influence of polyethylene-polyamine surface treatment of carbon nanotube on the TPB and friction and wear behavior of thermoplastic polyimide composite. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 50(10): 996–999.
- Li, X., Tabil, L. G., Panigrahi, S., 2007. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1): 25–33.
- Mehdi, H., Mehmood, A., 2019. Theoretical modelling and experimental investigation on mechanical properties of natural fiber reinforced by epoxy resin matrices. *Journal of Materials Science & Surface Engineering*, 6(5): 867–871.
- Mishra, V., Biswas, S., 2013. Physical and mechanical properties of bi-directional jute fiber epoxy composites. *Procedia Engineering*, 51: 561–566.
- Mohanty, A. K., Vivekanandhan, S., Pin, J.-M., Misra, M., 2018. Composites from renewable and sustainable resources: challenges and innovations. *Science*, 362(6414): 536–542.
- Mwaikambo, L. Y., Tucker, N., Clark, A. J., 2007. Mechanical properties of hemp-fibre-reinforced euphorbia composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 292(9): 993–1000.
- Petchwattana, N., Covavisaruch, S., 2014. Mechanical and morphological properties of wood plastic biocomposites prepared from toughened poly (lactic acid) and rubber wood sawdust (*Hevea brasiliensis*). *Journal of Bionic Engineering*, 11(4), 630–637.
- Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., Le, T. M., 2016. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83: 98–112.
- Prabhu, R., Mendonca, S., D’Souza, R., Bhat, T. N., 2022. Effect of water absorption on the mechanical properties of alkaline treated bamboo and flax fiber reinforced epoxy composites. *Trends in Sciences*, 19(18): 5779–5779.
- Ray, D., Sarkar, B. K., Rana, A. K., Bose, N. R., 2001. Effect of alkali treated jute fibres on composite properties. *Bulletin of Materials Science*, 24(2): 129–135.
- Saba, N., Allothman, O. Y., Almutairi, Z., Jawaid, M., Ghori, W., 2019. Date palm reinforced epoxy composites: tensile, impact and morphological properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5): 3959–3969.
- Saba, N., Jawaid, M., Allothman, O. Y., Paridah, M., Hassan, A., 2015. Recent advances in epoxy resin, natural fiber-reinforced epoxy composites and their applications. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 35(6): 447–470.
- Saba, N., Tahir, P. M., Jawaid, M., 2014. A review on potentiality of nano filler/natural fiber filled polymer hybrid composites. *Polymers*, 6(8): 2247–2273.
- Sadaf, S. M., Siddik, M., Ahsan, Q., 2011. Physical and mechanical properties of jute mat reinforced epoxy composites. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 28(2): 115–121.
- Scarponi, C., Schiavoni, E., Sánchez-Sáez, S., Barbero, E. J., Sarasini, F., 2012. Polypropylene/Hemp fabric reinforced composites: manufacturing and mechanical behaviour. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 6(4): 361–369.

- Selver, E., Ucar, N., Gulmez, T., 2017. Effect of stacking sequence on tensile, flexural and thermomechanical properties of hybrid flax/glass and jute/glass thermoset composites. *Journal of Industrial Textiles*, 48(2): 494–520.
- Sinha, A. K., Narang, H. K., Bhattacharya, S., 2017. Mechanical properties of natural fibre polymer composites. *Journal of Polymer Engineering*, 37(9): 879–895.
- Song, X., Zheng, S., Huang, J., Zhu, P., Guo, Q., 2000. Miscibility, morphology and fracture toughness of tetrafunctional epoxy resin/poly (styrene-co-acrylonitrile) blends. *Journal of Materials Science*, 35(22): 5613–5619.
- Thakur, V. K., Thakur, M. K., 2014. Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 109: 102–117.
- Thomsen, A. B., Bohn, V., Nielsen, K., Pallesen, B., Orgensen, M. S., 2000. Effects of chemical-physical pre-treatment processes on hemp fibers, *Bioresource Hemp*, 1-6.
- Weikart, C. M., Miyama, M., Yasuda, H. K., 1999. Surface modification of conventional polymers by depositing plasma polymers of Trimethylsilane and of Trimethylsilane + O<sub>2</sub>. *Journal of Colloid and Interface Science*, 211(1): 28–38.
- Yew, B. S., Muhamad, M., Mohamed, S. B., Wee, F. H., 2019. Effect of alkaline treatment on structural characterisation, thermal degradation and water absorption ability of coir fibre polymer composites. *Sains Malaysiana*, 48(3): 653–659.

## Söğüt ağacının (*Salix alba* L.) öz ve diri odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Musa Kaya<sup>a,\*</sup>, Ramazan Bülbül<sup>b</sup>, Vedat Çavuş<sup>c</sup>

**Özet:** Yapılan çalışmada, geniş yapraklı bir ağaç olan söğüt (*Salix alba* L.) odununun öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak yoğunluk değeri, rutubet oranı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, dinamik eğilme direnci ve lifler paralel basınç dirençleri araştırılmıştır. Ayrıca vida tutma kapasitesi ile Brinell sertlik değerlerinin tespiti ise hem odun kısımlarına ve hem de kesit yüzeylerine bağlı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre söğüt odununun statik eğilme direnci, en yüksek diri odunda 78,54 N/mm<sup>2</sup>, eğilmede elastikiyet modülü değeri en yüksek diri odunda 8171,20 N/mm<sup>2</sup>, dinamik (Şok) eğilme direnci, en yüksek diri odun kısmında 63,33 kJ/m<sup>2</sup>, liflere paralel basınç direnci ise en yüksek öz odun kısmında 27,30 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesi ise en yüksek öz odun'un teğet kesit yüzeyinde 26,80 N/mm<sup>2</sup> olduğu, Brinell sertlik değerinin ise en yüksek öz oduna ait enine kesit yüzeyinde 29,44 N/mm<sup>2</sup> olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre söğüt odununun statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde öz ve diri odun arasında anlamlı bir farkın olmadığı, ancak yapılan bu çalışmada; incelenen diğer mekanik dirençlerin öz ve diri oduna bağlı olarak anlamlı düzeyde farklı oldukları tespit edilmiştir. Dolayısıyla söğüt odununun statik yüklere maruziyeti durumunda, odun kısmının önemsiz olduğu, fakat vidalama işlemlerinde, basınca maruz kaldığında öz odunun tercih edilmesi ile birlikte kesit yüzeylerinin de dikkate alınması gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kesit yüzeyler, Mekanik özellikler, Öz ve diri odun, Söğüt odunu

## Determination of some physical and mechanical properties of heart and sapwood of willow (*Salix alba* L.)

**Abstract:** In this study, density, moisture content, bending strength, modulus of elasticity in bending, dynamic bending strength and compressive strength parallel to fibers were investigated depending on the heartwood and sapwood of willow (*Salix alba* L.), a broad-leaved tree. In addition, the determination of screw holding capacity and Brinell hardness values were examined depending on both wood sections and cross-sectional surfaces. According to the results obtained, the static flexural strength of willow wood was 78.54 N/mm<sup>2</sup> in the highest sapwood, the modulus of elasticity value in bending was 8171.20 N/mm<sup>2</sup> in the highest sapwood, the dynamic (Shock) bending strength was 6333 kJ/m<sup>2</sup> in the highest sapwood, and the compressive strength parallel to the fibers was 27.30 N/mm<sup>2</sup> in the highest heartwood. The screw holding capacity was found to be 26.80 N/mm<sup>2</sup> on the tangential cross-sectional surface of the highest heartwood, and the Brinell hardness value was 29.44 N/mm<sup>2</sup> on the cross-sectional surface of the highest heartwood. According to these results, it was determined that there was no significant difference between heartwood and sapwood in static bending strength and modulus of elasticity in bending values of willow wood, but other mechanical strengths examined in this study were found to be significantly different depending on heartwood and sapwood. According to these results, the static bending of willow wood Therefore, in the case of exposure of willow wood to static loads, the wood part is insignificant, but in screwing processes, when exposed to pressure, the cross-sectional surfaces should be taken into account along with the preference of heartwood.

**Keywords:** Cross-sectional surfaces, Mechanical properties, Heartwood and sapwood, Willow wood

### 1. Giriş

Beyaz söğüt olarak bilinen *Salix alba* L., en büyük ve en iyi bilinen söğütlerden biridir. Yaygın adı, kendine özgü soluk gümüşü yapraklarından gelir. Söğüt olarak yetiştirilen, esnek dalları ve dar yaprakları ile karakterize edilen söğüt türlerinden biridir. Avrupa'dan Orta Rusya'ya ve Çin sınırlarına kadar uzanan geniş bir dağılıma sahiptir. Bu hızlı büyüyen söğüt ılıman iklimlerde görülür ve köklerinin suya erişimi olması koşuluyla çok çeşitli topraklara tolerans gösterir. *Salix alba* L. (beyaz söğüt) hızlı büyüyen iki evcikli

geniş yapraklı bir ağaçtır. Söğüt türlerinin en büyüklerinden biridir ve 30 m'ye kadar yüksekliğe ve 1 m veya daha fazla çapa ulaşabilir. Uzun ömürlü değildir: genellikle sadece 20-30 yıl hayatta kalır. Derin çatlaklı kabuğu mantarimsı çıkıntılarla koyu gridir. Yaprakları uzun ve dar (mızrak şeklinde), üst tarafı gümüş grisi ve alt tarafı yoğun ipeksi beyaz tüylerle kaplıdır ve ağaca kendine özgü soluk bir görünüm verir (Mitchell, 1974; Johnson, 2004; Praciak vd., 2013). Türkiye ormanları doğal söğüt taksonları açısından zengin çeşitliliğe sahiptir. Söğüt (*Salix*), kışın yapraklarının dökün, ender olarak da herdem yeşil kalan ağaç ya da çalı

✉ <sup>a</sup> Yakutiye Atatürk Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Erzurum, Türkiye  
<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü Ankara, Türkiye  
<sup>c</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): musa.kaya5@gazi.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.02.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 11.07.2024



**Citation** (Atf): Kaya, M., Bülbül, R., Çavuş, V., 2024. Söğüt Ağacının (*Salix alba* L.) öz ve diri odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 302-312.  
DOI: [10.18182/tjf.1437947](https://doi.org/10.18182/tjf.1437947)



formunda bulunan odunsu bitkilerdir. Dünya genelinde 300 civarında, ülkemizde ise 24 söğüt taksonu bulunurken, birçok tür de park ve bahçelerde süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Söğütlerin birbirleri arasında çok kolay hibrit yapabilmeleri ve çok fazla taksonu olması nedeniyle sistematiklerini yapmak oldukça güçtür. *Salix alba* (Ak Söğüt), *Salix babylonica* (Salkım Söğüt), *Salix caprea* (Sorkun, Keçi Söğüdü, Orman Söğüdü), *Salix fragilis* (Gevrek Söğüt), *Salix cinerea* (Boz Söğüt) ve *Salix viminalis* (Sepetçi Söğüdü) en sık rastlanan söğüt türleridir (Güvenç, 2003). Söğüt yaprakları uzun ve dar, üst tarafta gümüş-gri, alt tarafında yoğun ipeksi beyaz tüylerle ağaca belirgin soluk görünüm vermektedir. Kabuk, derin çatlamış koyu gri ve mantar çıkıntılı şeklindedir (Acar, 2014; Dönmez ve Salman, 2021). Genellikle dikilmiş olabileceği göllerin ve nehirlerin kenarlarında yetişen *Salix alba*'nın Dünya ve Türkiye üzerindeki yayılışı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Söğüt odunu çeşitli uygulamalar için kullanılabilen çok yönlü bir kerestecedir. Değişken kalınlıkta beyazımsı bir diri odunu ve beyazdan pembemsi bir öz odunu vardır. Söğüt tipik olarak ince ve düzgün bir dokuya sahip düz bir damara sahiptir. Kara söğüdüün öz odunu soluk kırmızımsı kahverengiden grimsi kahverengiye kadar değişir ve birbirine kenetlenmiş bir damara sahiptir. Söğüt odunu hafif, yumuşak dokulu, dayanıklı ve elastik bir yapıya sahiptir. Bu nedenle kutu yapımında, kriket sopası ve el aletleri yapımında mutfak eşyaları, okçuluk yayları, çemberler, hasır sepetler, kanolar ve bazı inşaat uygulamalarında kullanılır. Sanayide selüloz ve kâğıt üretiminde kullanılmaktadır. Bazı söğüt türleri erozyon ve rüzgâr perdesi, su bentlerinin ve hendeklerin tahkimi, sepet yapımı, çit yapımı, yakacak, selüloz ve kâğıt, süs bitkisi ve diğer küçük el aletleri yapımında ve hayvan yemi olarak da kullanılmaktadır. Biomas üretimi ve enerji amaçlı tesislerde, hızlı büyümesi, sürgün verme kapasitesinin yüksek olması ve vejetatif olarak kolay üretilmesi gibi karakteristikleri yönünden enerji plantasyonları tesisine uygun tür olarak görülmektedir (Tunçtaner, 1990). Kabuğundan elde edilen tanen ve salisin (Aspirinin üretildiği) dâhil olmak üzere bir dizi odun dışı ürün vardır, ancak bunlar genellikle şu anda çok az ticari öneme sahiptir. Çekici gövde renklerine sahip bir dizi çeşit süs amaçlı olarak yetiştirilmiştir. Ak söğüdüün yayılış alanı, Avrupa'da erozyon oranının yüksek olduğu birçok alanla, özellikle de Avrupa dağ sistemlerinde yüksek drenaj alanına sahip nemli yamaçlarla örtüşmektedir. Bu kritik alanlarda, ak söğüt erozyonun azaltılmasına katkıda bulunur ve daha genel olarak erozyon kontrolü ve su yollarının kıyılarının stabilize edilmesinin yanı sıra ekosistem restorasyonu ve fitoremediasyon için de yararlıdır (Ball vd., 2005; Savill, 2019).



Şekil 1. Söğüt ağacının Dünya ve Türkiye üzerindeki yayılışı (Caudullo vd., 2017).

Söğüt ağacının (*Salix alba*) kimyasal özelliklerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalarda; holoselüloz %78,1, selüloz %53,5, lignin %21,6, %1'lik NaOH çözünürlüğünü %21,5, sıcak su çözünürlüğü %7,4 olarak tespit edilmiştir (Eroğlu ve Usta, 1989). Başka bir çalışmada ise (*Salix babylonica*) holoselüloz miktarı %75,68, selüloz miktarı %51,72, lignin miktarı %17,91, sıcak su çözünürlüğü %7,53, %1'lik NaOH çözünürlüğü %21,9 olarak tespit edilmiştir (Alkan, 2004). Salman tarafından yapılan yüksek lisans tezinde ise Holoselüloz (%) 81,70,  $\alpha$ -selüloz (%), 48,42 Lignin (%), 24,01, Sıcak su çözünürlüğü (%) 4,09 %1'lik NaOH çözünürlüğü (%) 13,88 olarak tespit edilmiştir (Salman, 2019).

Söğüt odunun mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmada ortalama yoğunluk 0,40-0,60 g/cm<sup>3</sup> arasında, elastikiyet modülü 4649,47 N/mm<sup>2</sup>, eğilme direnci 53,34 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir (Bogdan vd., 2016).

Söğüt odunun fiziksel, mekanik, kimyasal ve anatomik özellikleri üzerine çalışmalar olmasına rağmen literatürde bu odunun türünün diri ve öz odunun özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle, Erzurum ilinden temin edilen Söğüt ağacı (*Salix alba*) odununun diri ve öz odunu kısımlarının bazı mekanik, (eğilmede elastikiyet modülü ve eğilme direnci, dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci, vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerinin tayin edilmesi) ve bazı fiziksel özellikler (hava kurusu yoğunluk ve hava kurusu rutubet değeri) belirlenmiştir. Belirlenen bu bilgilerin bu ağaç türünün öz ve diri odunlarının kullanım alanları hakkında önemli bilgiler vereceği düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan ve Erzurum ilinde yetişen söğüt (*Salix alba*) ağacına ait odun numuneleri, Erzurum ilinde bulunan bir keresteciden satın alınmıştır. Bu çalışma için deney numuneleri hazırlanırken TS ISO 3129 (2021) standardında belirtilen esaslara uyulmuştur. Temin edilen tomruğun çapı 46 cm olduğundan diri ve öz odun kısımları dikkate alınarak kesilmiştir. Deney numuneleri lif yönü doğrultusunda uzunluk yönüne paralel makta kısımlarındaki yıllık halkalar iki yüzeye paralel diğer iki yüzeye dik olacak biçimde kesilmesine özen gösterilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin çatlaksız, budaksız, mantar ve böcek tahribatına maruz kalmamış şekilde bir seçim yapılmıştır.

### 2.2. Yöntem

Yapılan çalışmada gerçekleştirilen testler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü test laboratuvarında bulunan deney cihazlarında gerçekleştirilmiştir.

#### 2.2.1. Hava kurusu yoğunluk değeri ve rutubet oranının tespit edilmesi

Hava kurusu yoğunluk tayini TS ISO 13061- 2 (2021) standartlarına göre 20 mm x 20 mm x 30 mm ebatlarında hazırlanan örnekler 20 ± 2 °C sıcaklık ve %65 ± 5 bağıl nem koşullarında değişmez ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmişlerdir. Örnek ağırlıkları 0,01g hassasiyetteki terazide tartılıp 0,01 mm duyarlılıkta dijital kumpas ile

boyutları ölçülmüştür. Yoğunluk değerlerinin tespit edilmesi için eşitlik 1 kullanılmıştır. Hava kuru yoğunluk değerlerinin tespiti için ağırlık ve hacimleri ölçülen ve TS ISO 13061 – 1 (2021)'deki standartlara sahip aynı deney numuneleri 103±2 °C'de değişmez ağırlığa erişinceye kadar kurutulmuştur. 6 saat aralıklarla yapılan iki tartım arasındaki fark, deney numunesi ağırlığının %0,5'ine eşit veya daha az olduğunda, değişmez ağırlığa ulaştığı kabul edilmiş olup; daha sonra eşitlik 2 ile rutubet değerleri tayin edilmiştir.

$$\delta_{12} = \frac{M_{12}}{V_{12}} \text{ g/cm}^3 \quad (1)$$

Burada;  $M_{12}$ : Hava kuru ağırlık (g),  $V_{12}$ : Hava kuru hacim (cm<sup>3</sup>).

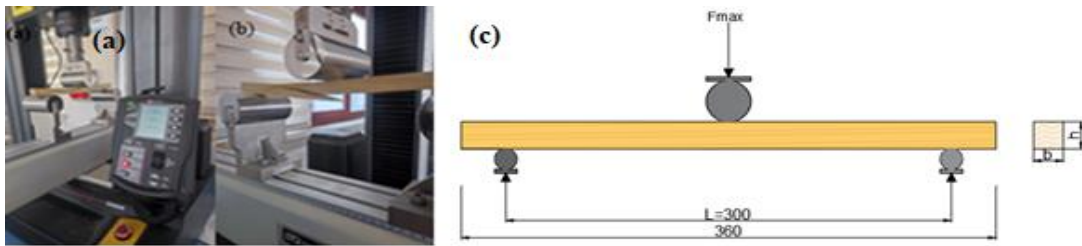
$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \quad (2)$$

W: Rutubet miktarı (%)

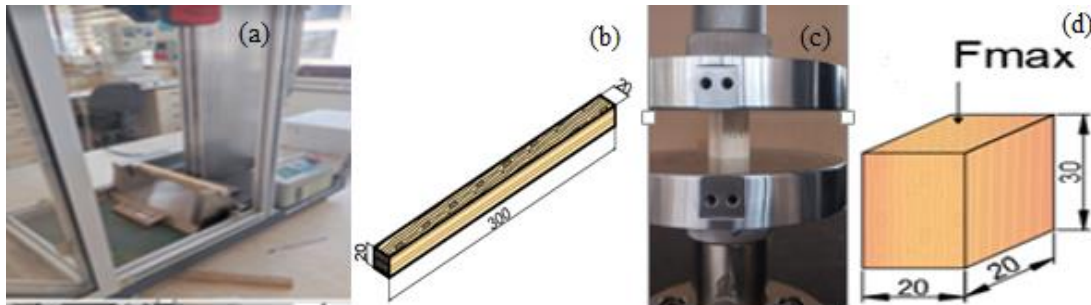
$m_1$ : Kurutmadan önce deney parçası ağırlığı (gram),  $m_2$ : Kurutmadan sonra deney parçası ağırlığı (gram)

### 2.2.2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti

Eğilme direnci tespiti için TS ISO 13061-3 (2021) ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti için ise TS ISO 13061-4 (2021) standartlardaki esaslara uyulmuştur. Deney numuneleri, ağaç malzemeler için 360 mm x 20 mm x 20 mm ölçülerinde olup kuvvet uygulaması teğet ve radyal yönlere dik pozisyonda olacak şekilde 10'ar adet deney numunesi hazırlanmıştır. Eğilme direnci testinde mesnetler arası mesafe 30 cm, kuvvet uygulaması ise dakikada 10 mm ayarlanıp; belirlenen yönlere (Radyal ve teğet) dik uygulanarak deney işlemi gerçekleştirilmiştir. Eğilme direncinin tespitinde kullanılan deney cihazı (Instron 5969) ve deney yapılmış numuneler Şekil 2'de görülmektedir. Deney numunelerinin eğilme dirençleri eşitlik 3 ve eğilmede elastikiyet modülü ise eşitlik 4'teki formüle göre hesaplanmıştır.



Şekil 2. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti; (a) ve (b) statik eğilme deney düzeneği, (c) statik eğilme deney numunesi şematik gösterimi



Şekil 3. Dinamik eğilme (a), (b) ve liflere paralel basınç direnci (c), (d) ile ilgili görseller

$$\sigma_e = \frac{3F_{max} \cdot L}{2bh^2} \quad (3)$$

Burada;  $\sigma_e$ : Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>),  $F_{max}$ : Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N), L: Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm), b: Deney parçasının genişliği (mm), h: Deney parçasının yüksekliği (mm) olarak alınmıştır.

$$E = \frac{F_{max} \cdot L^3}{4bh^3 \cdot f} \quad (4)$$

E: Eğilmede elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>), f: Maksimum kuvvetin %10 ile %40'ı arasındaki sehim miktarı.

### 2.2.3. Dinamik (şok) eğilme direncinin ve liflere paralel basınç direncinin tespiti

Dinamik eğilme direnci testi TS ISO 13061-10 (2021)'deki esaslara uyularak gerçekleştirilmiştir. Buna göre mesnetler arası mesafe 26 cm olarak ayarlanmış olup; deney numuneleri ise 20 mm x 20 mm x 300 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Dinamik eğilme direnci herhangi bir işlem yapılmadan Charpy markalı cihaz tarafından tespit edilen kJ/m<sup>2</sup> değerleri dikkate alınmıştır. Liflere paralel basınç deneyi ise TS ISO 13061-17 (2017) esaslarına göre yapılmıştır. Deneylerde yükleme hızı 4 mm/dk. olacak şekilde uygulanmıştır. Deneyler esnasında maksimum kuvvet ( $F_{max}$ ) Newton cincinden kaydedilerek her bir deney örneğinin liflere paralel basınç direnci ( $\sigma_B$ ) eşitlik 5 ile hesaplanmıştır. Dinamik eğilme ve liflere paralel basınç direncinin tespiti ile ilgili görseller Şekil 3'te verilmiştir.

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A} \quad (5)$$

Burada;  $\sigma_B$ : Basınç direnci (N/mm<sup>2</sup>), A: örnek enine kesit alanı (mm<sup>2</sup>).

### 2.2.4. Vida tutma kapasitesinin ve brinell sertlik değerinin tespiti

Yapılan çalışmada vida tutma kapasitesinin tespiti Mares markalı cihaz ile yapılırken (Şekil 4a), deney numunelerinin öz ve diri odun kısımlarının teğet, radyal ve enine kesit yüzeyleri dikkate alınarak 15 mm derinliğinde ön kılavuz deliği açılarak vidalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Vida tutma kapasitesinin tespiti için TS EN 13446 (2005) No'lu standart esas alınıp 5 cm x 5 cm x 5 cm boyutlarındaki deney numuneleri ile her bir kesit yüzeyi için 10'ar adet olmak üzere toplam 60 adet deney gerçekleştirilmiştir. Deney uygulamalarında kullanılan vida, çelik gövdeli ve yıldız uçlu olup; ölçüsü ise 4,2 mm x 38 mm ve vida adım ölçüsü ise 1,4 mm'dir (Şekil 4b). Brinell sertlik deneyleri (Şekil 4c) ise TS ISO 13061-12 (2021) esasları doğrultusunda uygulanarak; 20 mm x 50 mm x 50 mm ölçülerine sahip numuneler (Şekil 4d) üzerinde ve Instron 5969 markalı üniversal test cihazında tespit edilmiştir. Vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ilişkin görseller Şekil 4'te verilmiştir.

### 2.2.5. Verilerin analiz edilmesi

DeneySEL metotlarla elde edilen verilerin analizinde SPSS 26 ve MSTAT-C programları tercih edilmiştir. Bu programlar ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve çoklu

karşılaştırmalar (Duncan çoklu karşılaştırma testi) 95% güven endeksi esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

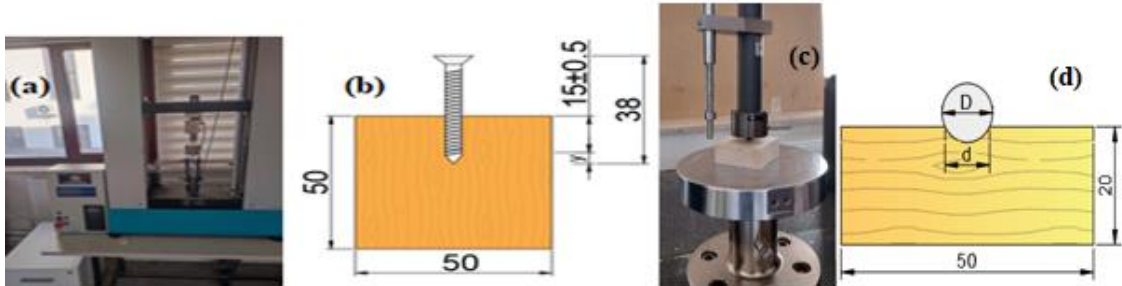
## 3. Bulgular ve tartışma

### 3.1. Yoğunluk ve rutubet değerlerinin tespiti

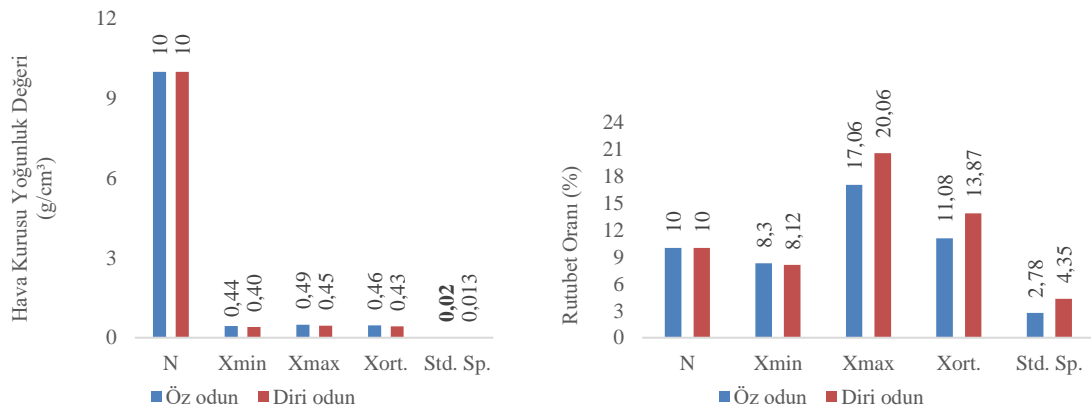
TS ISO 13061- 2 (2021)'ye göre söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak tespit edilen hava kurusu yoğunluk ve TS ISO 13061 -1 (2021)'e göre belirlenen rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel veriler Şekil 5'te verilmiştir.

TS ISO 13061 – 2 (2021)'ye göre söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının yoğunluk değerlerinin birlerinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; söğüt odununa ait öz odun kısmının hava kurusu yoğunluk değerinin diri oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. TS ISO 13061 – 1 (2021)'e göre belirlenen rutubet oranlarında ise diri odunun rutubet oranının %13,87 ile öz odun kısmından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Söğüt odununun odun kısımlarına ait hava kurusu yoğunluk değerleri ve rutubet değerlerindeki bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmış olup; elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Vida tutma kapasitesi ve brinell sertlik değerine ilişkin görseller, (a) vida tutma kapasitesi deney düzeneği, (b) vidaların bağlanması, (c) brinell sertlik deney düzeneği, (d) brinell sertlik değeri için deney numunesi



Std. Sp.: Standart sapma; N: Numune sayısı

Şekil 5. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının hava kurusu yoğunluk ve rutubet değerlerine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 1. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının hava kuruğu yoğunluk ve rutubet değerlerine ilişkin çoklu varyans analiz sonuçları

|                      | Varyans kaynağı    | SD | Kareler Ort. | F      | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta <sup>2</sup> |
|----------------------|--------------------|----|--------------|--------|----------------------------|------------------------|
| Hava kuruğu yoğunluk | Odon kısmı         | 1  | 0,005        | 18,249 | 0,000                      | 0,503                  |
|                      | Hata               | 18 | 0,000        |        |                            |                        |
|                      | Toplam             | 20 |              |        |                            |                        |
|                      | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |        |                            |                        |
| Rutubet oranı        | Varyans kaynağı    | SD | Kareler Ort. | F      | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta <sup>2</sup> |
|                      | Odon kısmı         | 1  | 38,750       | 2,905  | 0,106                      | 0,139                  |
|                      | Hata               | 18 | 13,341       |        |                            |                        |
|                      | Toplam             | 20 |              |        |                            |                        |
|                      | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |        |                            |                        |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Yapılan çoklu varyans analizine göre söğüt odununa ait odun kısmının hava kuruğu yoğunluk değerine olan etkisinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ( $p<0,05$ ) etkili olduğu; etki düzeyinin ise %50,3 olduğu tespit edilmiştir. Yine Çizelge 1'e göre odun kısmının rutubet oranına etkisinin anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Ağaç malzemenin yoğunluğu direnç özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda direnç özellikleri ise kullanım yeri ile ilişkili olup; meşe, sedir ve çam gibi yüksek yoğunluğa sahip odun türlerinin yüksek mukavemet gerektiren alanlarda kullanılmasının gerektirirken, ladin göknar ve kavak gibi düşük yoğunluğa sahip odun türlerinin ise mukavemet gerektirmeyen alanlarda değerlendirilmeleri gerekmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1997). Yapılan araştırmalarda söğüt odunu ile aynı grup odunlardan olan (Dağmık traheli) kavak odununun öz odun yoğunluğu 0,396 g/cm<sup>3</sup> (Bal ve Ayata, 2020). Dağmık traheli diğer bir odun türü olan ıhlamur odununun hava kuruğu yoğunluk değerinin 0,489 g/cm<sup>3</sup> olduğunu tespit etmiştir (Çavuş vd., 2022). Ağaç malzemede öz odun diri oduna göre daha az su ihtiva etmektedir (Örs ve Keskin, 2008). Bunun nedeni ise diri odundaki miseller arası boşlukların öz odunda mevcut olan ekstraktif maddelerle tam dolu olmamasına bağlı olarak gerçekleştiğini belirtmiştir (Kantay, 1986). Dolayısıyla yapılan bu çalışmada söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait hava kuruğu yoğunluk ve rutubet değerlerinin yapılmış olan önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

### 3.2. Statik eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülünün tespiti

TS ISO 13061- 3 (2021)'e göre söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarına bağlı olarak tespit edilen statik eğilme direnci ve TS ISO 13061- 4 (2021)'e göre de eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatistiksel veriler Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6'da söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait statik eğilme direnci ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Tespit edilen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi %5 hata payı dâhilinde yapılarak, sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

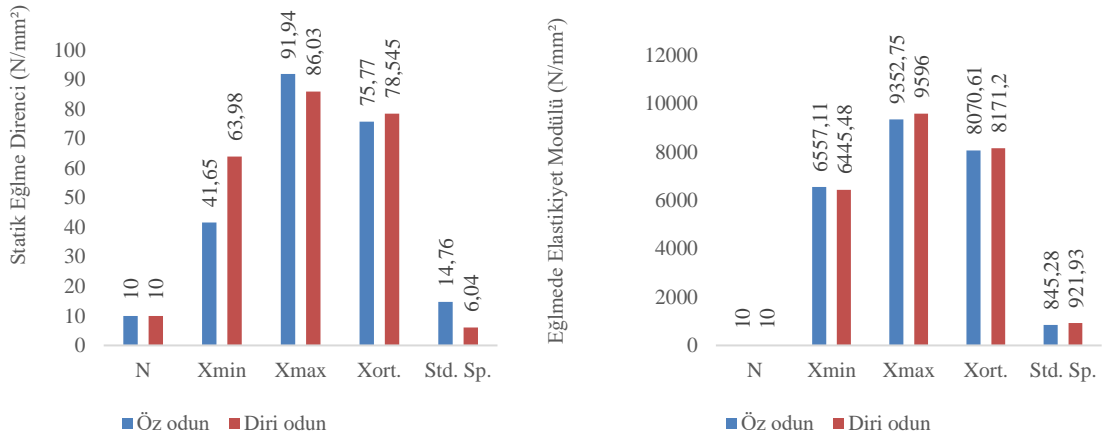
Çizelge 2'ye göre; söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının eğilme dirençleri ve eğilmede elastikiyet modül değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,05$ ) düzeyde bir farkın olmadığı tespit edilmiştir. Yine çizelgeye göre söğüt odununa ait odun kısmının etkisi; statik eğilme direncinde; %1,7, eğilmede elastikiyet modülü değerinde ise %0,4 ile zayıf düzeyde ve anlamsız olduğu tespit edilmiştir.

Literatürde ak söğüt odununun diri odun kısmının eğilme direnci 54,6 N/mm<sup>2</sup> iken öz odun kısmına ait eğilme direnci ise 54 N/mm<sup>2</sup>; eğilmede elastikiyet modülü değerleri ise öz odun için 5060 N/mm<sup>2</sup>, diri odun için 5520 N/mm<sup>2</sup> (Sacré, 1974a; Sacré, 1974b) olduğu; Mekanik dirençler bakımından söğüt odununa benzerlik gösteren kavak odununa ait eğilme dirençlerinin 75,1 N/mm<sup>2</sup> ve 79,61 N/mm<sup>2</sup> (Bal ve Ayata, 2020; Keskin ve Dağlıoğlu, 2016) olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca kavak odununun diri odun kısmı için eğilme direnci; 64,1 N/mm<sup>2</sup>, eğilmede elastikiyet modülü 5882 N/mm<sup>2</sup>, öz odun kısmı için ise eğilme direnci 45,8 N/mm<sup>2</sup>, eğilmede elastikiyet modül değeri 4357 N/mm<sup>2</sup> olduğunu belirtmişlerdir (Bal ve Bektaş, 2018). Yapılan çalışmalara göre kavak odununa göre diri odununun hem eğilme direnci ve hem de eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin öz odun kısmına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla yapılan bu çalışmada söğüt odunundaki diri odunun eğilme direnci ve eğilme elastikiyet modülü değerinin öz odundan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

### 3.3. Dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci

Söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direnci TS ISO 13061- 10 (2021)'a göre ve liflere paralel basınç direnci ise TS ISO 13061-17 (2021) numaralı standartta belirtilen esaslara uygun olarak yapılmış olup; yapılan testlere ilişkin istatistiksel veriler Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençleri ile liflere paralel basınç dirençlerine ait istatistiksel değerler verilmiştir. Elde edilen verilere göre öz ve diri odun kısımlarına ait dinamik eğilme direnci ile liflere paralel basınç dirençlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmüştür. Tespit edilen bu farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi %5 hata payı dâhilinde yapılarak, sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.



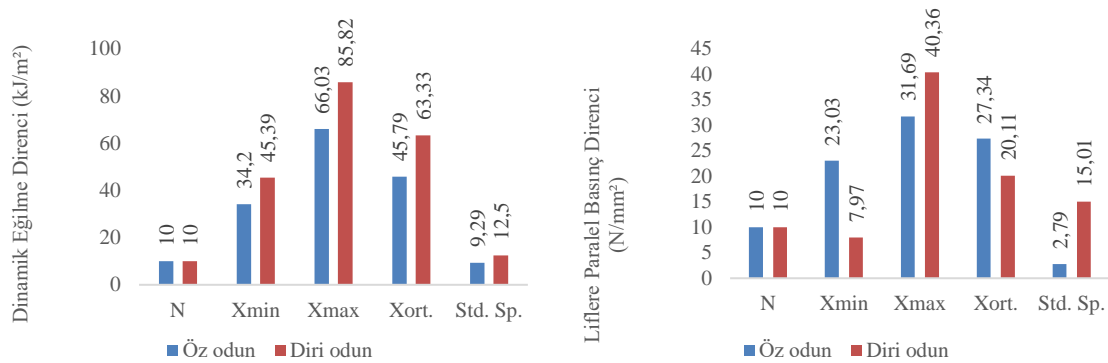
Std. Sp.: Standart sapma; N: Numune sayısı

Şekil 6. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının statik eğilme direnci (ED) ve eğilmede elastikiyet modülüne (EM) ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 2. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının eğilme dirençleri ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait çoklu varyans analizi

|                             | Varyans kaynağı    | SD | Kareler ort. | F     | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta <sup>2</sup> |
|-----------------------------|--------------------|----|--------------|-------|----------------------------|------------------------|
| Eğilme direnci              | Odun kısmı         | 1  | 38,448       | 0,302 | 0,589                      | 0,017                  |
|                             | Hata               | 18 | 127,145      |       |                            |                        |
|                             | Toplam             | 20 |              |       |                            |                        |
|                             | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |       |                            |                        |
| Eğilmede elastikiyet modülü | Odun kısmı         | 1  | 50591,741    | 0,065 | 0,802                      | 0,004                  |
|                             | Hata               | 18 | 782224,550   |       |                            |                        |
|                             | Toplam             | 20 |              |       |                            |                        |
|                             | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |       |                            |                        |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı



N: Numune sayısı; Std. Sp.: Standart sapma

Şekil 7. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direnci ve liflere paralel basınç direncine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 3. Söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençleri ve liflere paralel basınç dirençlerine ait çoklu varyans analizi

|                                | Varyans kaynağı    | SD | Kareler ort. | F      | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi Eta <sup>2</sup> |
|--------------------------------|--------------------|----|--------------|--------|----------------------------|------------------------|
| Dinamik eğilme direnci         | Odun kısmı         | 1  | 1539,328     | 12,690 | 0,002                      | 0,413                  |
|                                | Hata               | 18 | 121,302      |        |                            |                        |
|                                | Toplam             | 20 |              |        |                            |                        |
|                                | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |        |                            |                        |
| Liflere paralel basınç direnci | Odun kısmı         | 1  | 261,177      | 2,241  | 0,152                      | 0,111                  |
|                                | Hata               | 18 | 116,570      |        |                            |                        |
|                                | Toplam             | 20 |              |        |                            |                        |
|                                | Düzeltilmiş toplam | 19 |              |        |                            |                        |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Çizelge 3'e göre; söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme dirençlerinde istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,05$ ) düzeyde bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Ancak liflere paralel basınç direncinde ise odun türüne göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Çoklu varyans analizine göre odun kısmının dinamik eğilme direncine etkisinin %41,3 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analize göre dinamik eğilme direncine etkileri anlamlı tespit edilen öz ve diri odun kısımları arasındaki anlamlı farklılığa ait homojenlik gruplarını belirlemek için yapılan Duncan testinin sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4'e göre, söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ait hem dinamik eğilme dirençlerinin birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı oldukları tespit edilmiştir. Söğüt odununa ait dinamik eğilme direncinde diri odun kısmının öz odun kısmından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Söğüt odununun diri odun kısmına bağlı dinamik eğilme direncinin öz oduna göre daha yüksek çıkması diri odununun rutubet değerine bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Ağaç malzemenin statik dirençlerinde rutubet oranı azaldıkça direnç değerlerinde azalmalar meydana gelirken dinamik eğilme direncinde ise tam tersi bir durum söz konusudur. Çünkü ağaç malzemedeki rutubet oranı arttıkça malzemedeki esneklik oranı da artmaktadır. Dolayısıyla ağaç malzemenin gevreklik özelliği azalmakta olup; dinamik eğilme direnci artmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 1997). Diğer bir ifade ile ağaç malzemedeki rutubet oranı düştükçe gevrekliğinin artması ile daha kırılğan hale gelmektedir.

Söğüt odunu gibi dağınık traheliler grubuna ait olan bazı odun türlerinin dinamik eğilme dirençleri; Huş odunu, 0,680 kgm/cm<sup>2</sup> (Bal vd., 2018a), kavak odunu, 0,528 kgm/cm<sup>2</sup> (Orhan, 2017) olduğu; elde edilen bu değerler, birim olarak kJ/m<sup>2</sup>'e dönüştürüldüğünde söğüt odununa ait dinamik eğilme dirençlerine yakın oranlarda oldukları tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Söğüt odununa ait öz ve diri odun kısımlarının dinamik eğilme direncine ilişkin homojenlik grupları

| Odun kısmı | Dinamik eğilme direnci (kJ/m <sup>2</sup> ) | HG |
|------------|---|----|
| Öz odun    | 45,786                                      | B  |
| Diri odun  | 63,332                                      | A  |

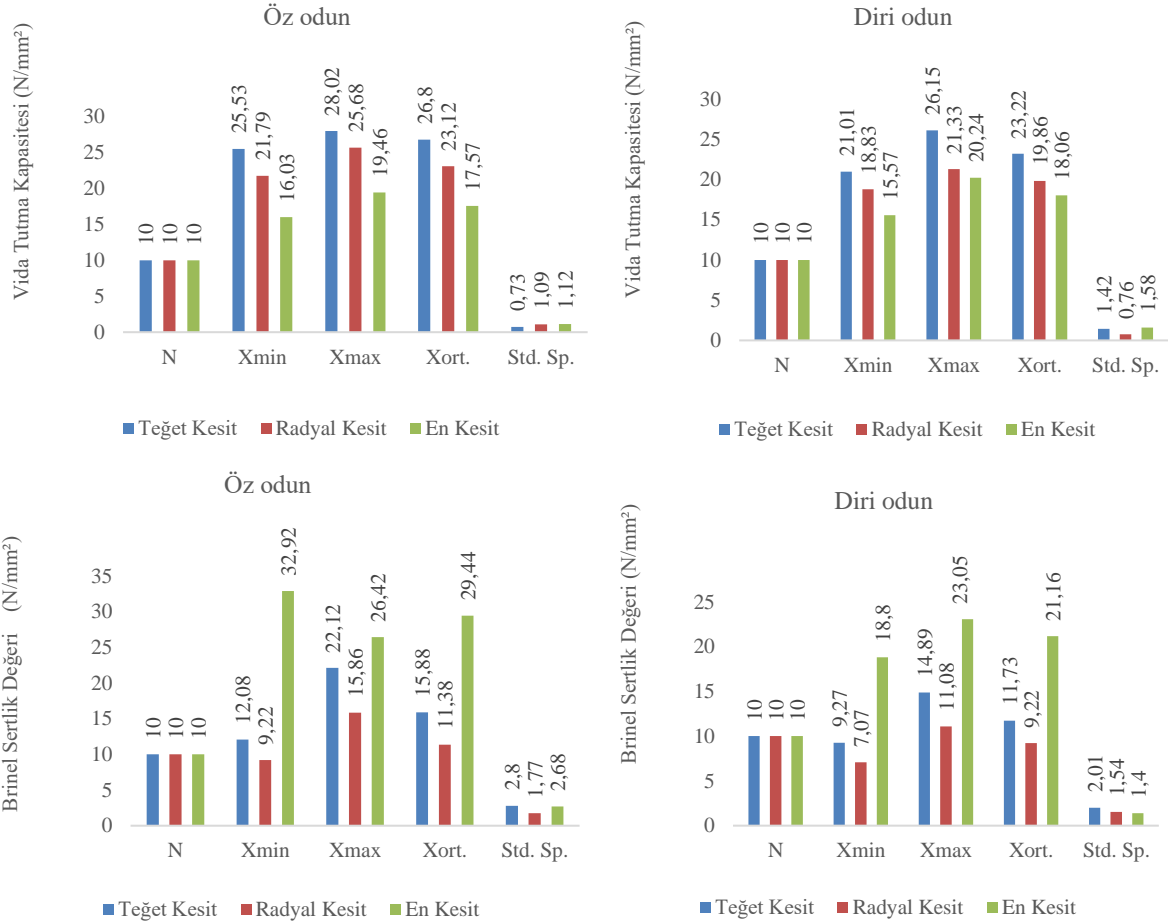
LSD: 8,52 kJ/m<sup>2</sup>, HG: Homojenlik grubu

Söğüt odununun liflere paralel basınç direncinde; öz ve diri odun arasında belirgin bir farkın olduğu; öz odununun liflere paralel basınç (27,34 N/mm<sup>2</sup>) direncinin diri oduna nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ağaç malzemedeki liflere paralel basınç direnci 25 ile 95 N/mm<sup>2</sup> arasında değişirken; liflere dik yöndeki basınç direnci ise 1 ile 20 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Tsoumis, 1991). Liflere dik yöndeki basınç direnci öz odunda diri oduna göre daha fazla olabilir. Bunun nedeni ise öz odun kısmının içerdiği ekstraktif madde miktarının daha fazla olmasına bağlıdır (Bozkurt ve Erdin, 2011). Yapılan çalışmada söğüt odununa ait liflere paralel basınç değeri 20 ile 35 N/mm<sup>2</sup> arasında olduğundan kara ve titrek kavaklar gibi liflere paralel basınç direnci düşük olan ağaçlar grubuna dâhil edilmektedir (Bozkurt ve Erdin, 1990). Ayrıca literatürde söğüt odununa benzer dağınık traheli odunlardan olan kızılbaş odunu 42,3 N/mm<sup>2</sup>, ıhlamur odunu 52 N/mm<sup>2</sup>'lik liflere paralel basınç dirençlerine sahip olduklarını tespit etmişlerdir (Bozkurt, 1992; Güller ve Ay, 2001).

#### 3.4. Vida tutma kapasitesi ve brinell sertlik değerinin tayin edilmesi

TS EN 13446 (2005)'ya göre vida tutma kapasiteleri, TS ISO 13061-12 (2021)'ye göre ise Brinell sertlik değerlerine ilişkin ilişkin istatistiksel veriler Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'e göre söğüt odununun teğet, radyal ve enine kesit yüzeylerin bağlı olarak hem vida tutma kapasiteleri ve hem de yüzey sertlik değerlerinin birbirlerinden farklı oldukları; yapılan deneye göre vida tutma kapasitesi en yüksek 26,80 N/mm<sup>2</sup> ile söğüt odununa ait öz odun kısmının teğet yüzeyinde tespit edilmiştir. Brinell sertlik değeri ise en yüksek 29,44 N/mm<sup>2</sup> ile söğüt odununa ait öz odun kısmının en kesit yüzeyinde tespit edilmiştir. Ayrıca vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olup ya da olmadıklarını belirlemek için çoklu varyans analizi yapılmıştır. Yapılan çoklu varyans analizi testine ait sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.



N: Numune sayısı; Std. Sp.: Standart sapma

Şekil 8. Söğüt odununun kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin istatistiksel veriler

Çizelge 5. Söğüt odununun odun kısmı ve kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin çoklu varyans analizi

|                        | Varyans kaynağı    | SD | Kareler ort. | F       | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi eta <sup>2</sup> |
|------------------------|--------------------|----|--------------|---------|----------------------------|------------------------|
| Vida tutma kapasitesi  | Odun kısmı (A)     | 1  | 67,225       | 50,056  | 0,000                      | 0,481                  |
|                        | Kesit yüzeyi (B)   | 2  | 259,188      | 192,993 | 0,000                      | 0,877                  |
|                        | AXB                | 2  | 25,475       | 18,969  | 0,000                      | 0,413                  |
|                        | Hata               | 54 | 1,343        |         |                            |                        |
|                        | Toplam             | 60 |              |         |                            |                        |
|                        | Düzeltilmiş toplam | 59 |              |         |                            |                        |
| Brinell sertlik değeri | Varyans kaynağı    | SD | Kareler ort. | F       | Anlamlılık düzeyi (p<0,05) | Kısmi eta <sup>2</sup> |
|                        | Odun kısmı (A)     | 1  | 354,829      | 80,419  | 0,000                      | 0,598                  |
|                        | Kesit yüzeyi (B)   | 2  | 1231,550     | 279,120 | 0,000                      | 0,912                  |
|                        | AXB                | 2  | 48,827       | 11,066  | 0,000                      | 0,291                  |
|                        | Hata               | 54 | 4,412        |         |                            |                        |
|                        | Toplam             | 60 |              |         |                            |                        |
|                        | Düzeltilmiş toplam | 59 |              |         |                            |                        |

SD: Serbestlik derecesi, F: Faktör etki düzeyi, p: %95 Güven aralığı

Çizelge 5'teki çoklu varyans analizi sonuçlarına göre gerek vida tutma kapasitelerine ve gerekse Brinell sertlik değerine etkileri araştırılan söğüt odununa ait odun kısımları (Öz ve diri odun) ile bu kısımlara ait olan kesit yüzeylerinin (Teğet, radyal ve enine) etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı ( $p<0,05$ ) olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucuna göre vida tutma kapasitesinde (%87,7) ve Brinell sertlik değerinde (%91,2) kesit yüzeylerinin etkilerinin daha yüksek düzeyde oldukları tespit edilmiştir. Söğüt odununun vida tutma

kapasitesi ve yüzey sertlik direncine etkileri anlamlı olarak tespit edilen odun kısmı ile kesit yüzeylerinin gruplar arasındaki farklılıkları belirlemek için Duncan testi yapılarak homojenlik durumları tespit edilmiştir. Duncan testi sonuçlarına göre söğüt odununun öz odun ve diri odun kısımlarının vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ait homojenlik grupları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Söğüt odununun odun kısmına bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ilişkin homojenlik grupları

| Odun kısmı | Vida tutma kapasitesi (N/mm <sup>2</sup> ) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm <sup>2</sup> ) | HG |
|------------|--|----|---|----|
| Öz odun    | 22,50                                      | A  | 18,90                                       | A  |
| Diri odun  | 20,38                                      | B  | 14,04                                       | B  |

LSD: 0,60 N/mm<sup>2</sup>, HG: Homojenlik grubu, LSD: 1,09 N/mm<sup>2</sup>

Çizelge 6'ya göre söğüt odununa ait öz odun kısmının diri oduna göre vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleşen bu sonuç; öz odun kısmının daha yüksek yoğunluğa sahip olması ile birlikte içerdiği ekstraktif madde miktarının fazlalığına bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Literatürde vida tutma kapasitesi yoğunluk artımıyla arttığı (Kaya ve İmirzi, 2023) ancak söğüt odununun öz ve diri odun kısımlarına ilişkin benzer bir çalışmaya rastlanılmadığı gibi diğer odun türlerine ait öz ve diri odun kısımlarının vida tutma dirençlerine de rastlanılmamıştır. Ancak söğüt odununa yakın yoğunluk değerine (0,46 g/cm<sup>3</sup>) sahip olan kavak odununun vida tutma direnci 16,5 N/mm<sup>2</sup> (Bal vd., 2015) olduğu; elde edilen bu değerlerin yapılan bu çalışma ile yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Ağaç malzemedeki Brinell sertlik değeri; yıllık halkanın yapısı, yaz odunu iştirak miktarı, trahelerin miktarı ve çap oranları etkili olmaktadır. Söğüt odununa ait Brinell sertlik değerinin öz oduna bağlı olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Ay ve Şahin, 2002). Öz ve diri odun arasındaki Brinell sertlik değerleri arasındaki farklılığın yoğunluk kaynaklı meydana geldiği söylenilebilir.

Literatürde Brinell sertlik değeri 34 N/mm<sup>2</sup>'den küçük odun türleri için çok küçük yüzey sertliği direnci sınıfına dâhil edilmektedirler (Bozkurt ve Erdin, 1990). Dolayısıyla yapılan çalışmada elde edilen veriler göre söğüt odunu çok düşük yüzey sertliğine sahip odun türü olarak nitelendirilebilir. Söğüt odununa ait kesit yüzeylerine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerine ait homojenlik grupları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7'ye göre söğüt odununa ait vida tutma kapasitesi en fazla teğet kesitte 25,02 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşirken en düşük vida tutma kapasitesi ise enine kesit yüzeyinde 17,82 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesinin teğet yüzeyde daha yüksek çıkmasının nedeni ise yıllık halkaların yapısını oluşturan selülozik yapıya sahip mikrofibrillerin teğet yüzeyde bariyer işlevi görmelerine bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 7. Söğüt odununa ait kesit yüzeylerine bağlı olarak vida tutma kapasitesi ve Brinell sertlik değerlerine ilişkin homojenlik grupları

| Kesit yüzeyi | Vida Tutma Kapasitesi (N/mm <sup>2</sup> ) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm <sup>2</sup> ) | HG |
|--------------|--|----|---|----|
| Teğet kesit  | 25,02                                      | A  | 13,81                                       | B  |
| Radyal kesit | 21,49                                      | B  | 10,30                                       | C  |
| Enine kesit  | 17,82                                      | C  | 25,30                                       | A  |

LSD:0,73 N/mm<sup>2</sup>, HG: Homojenlik Grubu, LSD: 1,33 N/mm<sup>2</sup>

Yapılan çalışmalarda farklı türlerdeki odunların vida tutma kapasitelerinin de teğet kesit yüzeyinde daha yüksek oldukları tespit edilmiştir (Çavuş ve Ayata, 2018; Efe, 2020; Çavuş, 2020b).

Brinell sertlik değeri birim hacim içerisindeki odun kütlesi artıkça sertlik değeri artmaktadır. Poröz oranı artıkça sertlik değeri düşmektedir. Aynı zamanda yıllık halka içerisindeki yaz odunu iştirak oranı azaldıkça sertlik değeri yine düşmektedir (Göker ve As, 1991). Yapılan çalışmada söğüt odununun yüzey sertlik direnci enine kesit yüzeyinde 25,30 N/mm<sup>2</sup> ile en yüksek iken en düşük Brinell sertlik değeri ise radyal kesitte 10,30 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlerin meydana gelmesi; yıllık halka yapısını oluşturan boyuna yöndeki boru şeklindeki misellerin konumuna bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Literatürde yapılan çalışmalara göre en kesit yüzeyinde gerçekleşen yüzey sertlik değerinin teğet ve radyal kesit yüzeyine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Bektaş vd., 2012; Aytin, 2013; Şahin, 2013; Bal vd., 2013). Söğüt odununun odun kısmı ile kesit yüzeyi etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ve yüzey sertlik direncine ait homojenlik grupları Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 8'e göre söğüt odununun odun kısmı ve kesit yüzeyi ikili etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen vida tutma kapasitesi ile Brinell sertlik değerlerine bakıldığında; vida tutma kapasitesinde, öz odun ile teğet kesit etkileşiminde en yüksek 26,81 N/mm<sup>2</sup> olarak tespit edilmiştir. Brinell sertlik değerinde ise en yüksek değer, öz odun ve enine kesit etkileşiminde 29,44 N/mm<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Vida tutma kapasitesinin öz odun ve teğet kesite bağlı daha yüksek olarak tespit edilmesinin nedeni öz odun içerisinde bulunan ekstraktif maddelerin varlığına bağlı olarak yoğunluk değerinin yüksekliğinden dolayı meydana geldiği söylenilebilir. Brinell sertlik değerinin de öz odundaki yoğunluk değerinin fazlalığından; ayrıca enine kesitte trahelerin üst üste gelmesi ile oluşan misellerin numune eksenine paralel bir şekilde uzamasıyla borucuklar teşkil etmesine bağlı olarak gerçekleştiği söylenilebilir.

Dikili ağaçlarda öz odun oluşumu esansında ekstraktif maddeler hücre çeperi ve lümenlere yerleşerek ağaç malzemenin yoğunluğunu artırmaktadır. Buna bağlı olarak mekanik direnç değerlerinde ve sertlik değerlerinde artışlar meydana gelmektedir (Bozkurt ve Erdin, 2011).

Çizelge 8. Söğüt odununa ait odun kısmı ve kesit yüzeylerinin ikili etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen homojenlik grupları

| Odun kısmı | Kesit yüzeyi | Vida Tutma Kapasitesi (N/mm <sup>2</sup> ) | HG | Brinell Sertlik Değeri (N/mm <sup>2</sup> ) | HG |
|------------|--------------|--|----|---|----|
| Öz odun    | Teğet kesit  | 26,81                                      | A  | 15,88                                       | C  |
|            | Radyal kesit | 23,11                                      | B  | 11,38                                       | D  |
|            | Enine kesit  | 17,57                                      | D  | 29,44                                       | A  |
| Diri odun  | Teğet kesit  | 23,23                                      | B  | 11,73                                       | D  |
|            | Radyal kesit | 19,86                                      | C  | 9,22  | E  |
|            | Enine kesit  | 18,06                                      | D  | 21,16                                       | B  |

LSD: 1,04 N/mm<sup>2</sup>, HG: Homojenlik grubu, LSD: 1,88 N/mm<sup>2</sup>



#### 4. Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada söğüt odununun öz ve diri odun kısımları ile teğet, radyal ve enine kesit yüzeylerine bağlı olarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemede elde edilen sonuçlara göre;

- Söğüt odununa ait öz ve diri odun yoğunlukları arasında anlamlı bir farkın olduğu; öz odunun yoğunluk değerinin diri oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak diri odununun rutubet oranının öz oduna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan incelemede hem statik eğilme direncinde ve hem de eğilmede elastikiyet modülü değerinde diri odun öz oduna göre daha dirençli iken diri ve öz odun arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir.
- Söğüt odununun odun kısmına bağlı olarak gerçekleşen dinamik eğilme direncinin diri odun kısmında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diri ve öz odun arasında var olan dirençsel farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı oldukları tespit edilmiştir.
- Liflere paralel basınç direncinde öz odun kısmının diri odun kısmına göre daha yüksek basınç direncine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Odun kısmına göre vida tutma kapasitesi; öz odunun diri oduna göre daha dirençli olduğu; kesit yüzeyi bakımından ise teğet kesitin hem radyal kesitten ve hem de enine kesitten daha yüksek vida tutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Odun kısmına göre Brinell sertlik değeri; öz odunda, diri oduna göre daha fazla olduğu; kesit yüzeyi bakımından ise enine kesitin hem teğet kesitten ve hem de radyal kesitten daha yüksek Brinell sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada elde edilen bulgulara göre söğüt odununun statik yüklere maruz kalınacak uygulamalarda kullanılması durumunda odun kısımları ve kesit yüzeylerinin dikkate alınması gerektiği önerilmektedir. Bu önerinin dikkate alınmasıyla söz konusu ürünün kullanım yerindeki hizmet süresinin daha uzun olabileceği söylenilebilir. Elde edilen tüm bu sonuçlara göre söğüt odunu çeşitli mobilyalarda, düşük yoğunluktan dolayı ısı ve ses yalıtımlarındaki duvar, tavan ve zemin kaplamalarında farklı işlemlere tabi tutularak (CLT panellerin çekirdek katmanı halinde) kullanılması önerilmektedir.

#### Kaynaklar

- Acar, N., 2014. Söğüt (*Salix alba*) ekstraktı mordanlı pamuk, yün elyaf ve ahşap numunelerinin sarkız çayı otu (*Sideritis trojana ehrend*) ile boyanma özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Alkan, Ç., 2004. Türkiye'nin önemli yapraklı ve ibre yapraklı ağaç odunlarının mikrografik yönden incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Ay, N., Şahin, H., 2002. Maçka-Çatak Bölgesi Anadolu Kestanesi (*Castanea Sativa Mill.*) odununun bazı mekanik özellikleri. Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1: 87-95.

- Aytin, A., 2013. Yabani kiraz (*Cerasus avium (L.) Monench*) odununun fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri üzerine yüksek sıcaklık uygulamasının etkisi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Bal, B.C., Ayata, Ü., 2020. Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. Turkish Journal of Forestry, 21(4): 461-467.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., 2018. Odunun yoğunluğu ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1(2): 51-61.
- Bal, B.C., Ayata, Ü., Çavuş, V., Şahin, S., Efe, F.T., Dilik, T., 2018. Huş (*Betula pendula*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. IV. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi (UMTEB), 7-9 Aralık, Erzurum, s. 2104-2113.
- Bal, B.C., Bektaş, İ., Kaymakçı, A., 2013. Toros sedirinde genç odun ve olgun odunun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2): 17-27.
- Bal, B.C., Gündeş, Z., Akçakaya, E., 2015. Kavak, kayın ve okaliptüs kaplamaları ile üretilen kontrplakların vida tutma direncinin araştırılması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2): 77-83.
- Ball, J., Carle, J., Del Lungo, A., 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. UNASYLVA-FAO, 56(2): 3-9.
- Bektaş, İ., Kaymakçı, A., Bal, B.C., 2012. Kahramanmaraş bölgesinde yetiştirilen pavlonya (*Paulownia elongata*) odununun teknolojik özellikleri. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi, Özel Sayı, 102-108.
- Bogdan, I., Musat, E.C., Salca, E.A., Scriba, C., Ciobanu, V.D., 2016. Evaluation of selected mechanical properties of willow wood. (Poster) International Symposium "Forest and Sustainable Development" Braşov, Romania 7-8 October,
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1990. Ticarete kullanılan ağaçlarda fiziksel ve mekanik özellikler. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 40(1): 6-24.
- Bozkurt, A.Y., 1992. Odun Anatomisi, İstanbul Üniversitesi. Yayın No: 3652, Orman Fak. Yayın No: 415, İstanbul.
- Bozkurt, Y., Erdin, N., 1997. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Genel Yayın No: 3998, Orman Fakültesi Yayın No:445, İstanbul.
- Bozkurt, A. Y., Erdin, N., 2011. Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı. İstanbul Üniversitesi Yayın No:5029, Orman Fakültesi Yayın No:445, İstanbul.
- Çavuş, V., Ayata, Ü., 2018. Manolya ağacı, akçaağaç ve tespih ağacı odunlarında vida tutma direnci üzerine bir araştırma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 1(2): 94-102.
- Çavuş, V., 2020. Kayısı ağacı (*Prunus armeniaca L.*) odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22(2): 457-464.
- Çavuş, V., Ersin, İ., Bal, B.C., 2022. Ihlamur (*Tilia tomentosa*) odunun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 5(2): 120-130.
- Caudullo, G., Welk, E., San-Miguel-Ayanz, J., 2017. Chorological maps for the main European woody species, Data in Brief, 12: 662-666.
- Dönmez, İ.E., Salman, H., 2021. Söğüt (*Salix alba L.*) odun ve kabuğunun kimyasal yapısı. Turkish Journal of Forestry, 22(1): 38-42.
- Efe, F.T., 2020. Japon akçaağaç odununun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir çalışma. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 3(2): 110-118.
- Eroğlu, H., Usta, M., 1989. Investigations on Utilisation Possibilities of White Willow (*Salix alba L.*) Wood in Pulp and Paper Industry, Journal of Agriculture and Forestry of TUBITAK, 13(2): 235-245.
- Göker, Y., As, N., 1991. Toros Sediri (*Cedrus libani A. Richard*) odununun brinell sertlik değeri. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 41(1): 1-11.

- Güller, B., Ay, N., 2001. Artvin Yöresi Sakallı Kızılağaç (*Alnus glutinosa subsp. barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) odununun bazı mekanik özellikleri. TUBİTAK, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 25 (2): 129-138.
- Güvenç, A., 2003. Ankara Çevresinde Yetişen *Salix* L. (Söğüt) Türleri Üzerinde Farmasötik Botanik Yönünden Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No:2001-08-03-033, Ankara.
- Johnson, O., 2004. Collins Tree Guide. HarperCollins Publishers, London.
- Kantay, R., 1986. Ağaç malzemenin rutubeti ve ölçülmesi. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 36(2): 58-74.
- Kaya, M., İmirzi, H., 2023. Farklı geometrik oluklu çekirdeğe sahip ahşap esaslı kompozit panellerin vida tutma dirençlerinin belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 6(1): 123-133.
- Keskin, H., Dağlıoğlu, N., 2016. Bazı odun türlerinde tanalit-emprenye maddesinin eğilme direnci ve eğilmede elastiklik modülüne etkileri. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1): 62-69.
- Mitchell, A.F., 1974. A Field Guide To The Trees Of Britain And Northern Europe. HarperCollins Distribution Services; Glasgow, UK.
- Orhan, H., 2017. Kavak odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine azot gazı varlığında yapılan ısı işleminin etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Örs Y., Keskin H., 2008. Ağaç Malzeme Teknolojisi. Gazi Yayın Dağıtım, G.Ü. Yayın No: 352, Ankara.
- Praciak, A., Pasiiecznik, N., Sheil, D., Van Heist, M., Sassen, M., Correia, C.S., Dixon, C., Fyson, G., Rushforth, K., Teeling, C., 2013. The CABI Encyclopedia Of Forest Trees. CABI, Oxfordshire, UK.
- Sacré E., 1974a. Étude du bois des peupliers "I.214", "robusta" et "gelrica" (2e partie). Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 81 (4): 219-230.
- Sacré E., 1974b. Contribution à l' étude du bois de saulle blanc. Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique, 81 (12): 485-501.
- Salman, H., 2019. Söğüt (*Salix alba* L.) odun ve kabuğunun kimyasal yapısı üzerine araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Savill, P., 2019. The Silviculture of Trees Used in British Forestry, 3rd edn. CAB International, Wallingford and Boston.
- Şahin, H.İ., 2013. Isıl işlemin doğal ve plantasyon ormanlarında yetişen dişbudak (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) odunlarının bazı teknolojik özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce
- Tunçtaner, K., 1990. Çeşitli Söğüt Klonlarının Genetik Varyasyonları ve Türkiye'nin Değişik Yörelere Adaptasyonları Üzerine Araştırmalar. Tarım, Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Kavak ve Hızlı Gelişen Yabancı Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten No: 150 (1990-2), Yenilik Basımevi, İstanbul, s. 13-15.
- Tsoumis, G., 1991. Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization (Vol. 115). New York: Van Nostrand Reinhold.
- TS EN 13446, 2005. Ahşap esaslı levhalar - Bağlayıcıların geri çıkma kapasitesinin tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 1, 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 2, 2021. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için birim hacim ağırlığı tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 3, 2021. Odunun statik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 4, 2021. Odunun statik eğilmede elastiklik modülünün tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 10, 2021. Odunun dinamik eğilme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061-12, 2021. Odunda, fiziksel ve mekanik deneyler için statik sertliğin tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 13061- 17, 2021. Odunun liflere paralel doğrultuda basınç dayanımı tayini. TSE, Ankara.
- TS ISO 3129, 2021. Odun- Küçük kusursuz odun numunelerinin mekanik ve fiziksel muayenesi için genel gerekler ve numune alma yöntemleri. TSE, Ankara.

## Kayın (*Fagus orientalis* L.) ve karaçam (*Pinus nigra*) odunu kullanılarak oluşturulan kavelalı mobilya köşe birleştirmeleri için sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırılması

Şeydanur Şanlıhlal<sup>a</sup>, Ergün Güntekin<sup>a,\*</sup>

**Özet:** Bu çalışmada kayın ve karaçam kullanılarak üretilmiş kavelalı birleştirmelerin eğilme performansları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Birleştirmeler 10 mm çapında 48 mm uzunluğunda yivli kayın kavela ve PVAc tutkalı kullanılarak birleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kullanılan malzemelerin yoğunluk ve rutubet gibi bazı fiziksel özellikleri ile elastikiyet modülü ve eğilme direnci gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Eğilme testlerinde akma direnci ve tanjant modülü de hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında bu ağaç türleri kullanarak köşe birleştirmeler üretilmiş ve eğilme testlerine maruz bırakılmıştır. Son olarak birleştirmelerin nümerik modelleri izotropik ve ortotropik malzeme özellikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Laboratuvar ortamında test edilen karaçam ve kayın odunundan yapılan kavelalı birleştirmelerinin rijitlik değerleri sırasıyla 3705 ve 4776 N.m/rad olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi bu rijitlik değerlerini karaçam ve kayın için ortotropik ve izotropik modeller ile sırasıyla 2727 ve 3363 N.m/rad, 4097 ve 4350 N.m/rad olarak tahmin etmiştir. Çalışma sonuçları kavelalı köşe birleştirmelerinin eğilme davranışı için geliştirilen ortotropik modellerin daha gerçekçi olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Karaçam, Kayın odunu, Kavelalı birleştirmeler, Sayısal modelleme

## Comparison of finite element models for doweled furniture corner joints made of beech (*Fagus orientalis* L.) and black pine (*Pinus nigra*) wood

**Abstract:** In this study, the bending performances of dowel joints produced using beech and black pine wood were examined experimentally and numerically. The joints were joined using 10 mm diameter and 48 mm long grooved beech dowels and PVAc glue. In the first stage of the study, some physical properties of the materials used, such as density and humidity, and mechanical properties such as elastic modulus and bending strength were determined. Yield strength and tangent modulus were also calculated in bending tests. In the second stage of the study, corner joints were produced using these wood species and were subjected to bending tests. Finally, numerical models of the joints were created using isotropic and orthotropic material properties. The stiffness values of dowel joints made of black pine and beech wood tested in the laboratory environment were calculated as 3705 and 4776 N.m/rad, respectively. The finite element method estimated these stiffness values as 2727 and 3363 N.m/rad, 4097 and 4350 N.m/rad for black pine and beech with orthotropic and isotropic models, respectively. The results of the study showed that orthotropic models developed for the bending behavior of doweled corner joints are more realistic.

**Keywords:** Black pine, Beech wood, Doweled joints, Numerical modelling

### 1. Giriş

Kavelalı birleştirmeler diğer birleştirmeler ile karşılaştırıldığında işlem kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle mobilya üretiminde ve bazı yapısal elemanların birleştirilmesinde daha çok tercih edilmektedir (Eckelman, 2002; Efe vd., 2005; Hao vd., 2020). Kavelalı birleştirmelerin direnci ve rijitliği ağaç türü, kavela çapı, derinliği, kullanılan tutkal türü ve tolerans gibi parametrelere göre değişmektedir (Eckelman, 1971; Zhang, 2001; Hao vd., 2020). Kavelalar arasındaki mesafe de kavelalı birleştirme performansı etkileyen faktörler arasındadır (Warmbier ve Wilczynski, 2000). Poliüretan esaslı tutkal ile yapılandırılan kavelalı birleştirmelerin eğilme performansı PVAc kullanılarak üretilen birleştirmelere göre çok daha yüksektir

(Zaborsky vd., 2019). Diğer taraftan PVAc tutkalının önemli avantajları arasında çabuk kuruması, kokusuz oluşu ve malzemeyi renklendirmemesi gösterilebilir (Diler vd., 2013). Kavela ebatlarının artması da eğilme performansını önemli ölçüde etkilemektedir (Zhang ve Eckelman, 1993; Chen vd., 2018).

İlk olarak 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanan "Sonlu Elemanlar Metodu (SEM ya da Finite Element Method, FEM)" terimi özellikle 2000'li yıllarda bilgisayar teknolojilerinin yaygınlaşmasına paralel olarak birçok mühendislik alanında üretimin bir parçası olmuştur. Gustafsson (1995, 1996, 1997) ve Smardzewski (1998) yaptığı çalışmalarda mobilya tasarımında ve optimizasyonunda sonlu elemanlar yönteminin adapte edilebileceğini göstermiştir. Kasal ve Püllela (1995) çubuk

\* Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 16310, Yıldırım, Bursa

\* **Corresponding author** (İletişim yazarı): ergun.guntekin@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.06.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.07.2024



**Citation** (Atf): Şanlıhlal, Ş., Güntekin, E., 2024. Kayın (*Fagus orientalis* L.) ve karaçam (*Pinus nigra*) odunu kullanılarak oluşturulan kavelalı mobilya köşe birleştirmeleri için sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırılması. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 313-319.  
DOI: [10.18182/tjf.1495635](https://doi.org/10.18182/tjf.1495635)

(2D) ve kabuk (3D) elemanlarını doğrusal olmayan yay eleman (1D) ile kullanarak rijitlik analizinde, Güntekin (2004) benzer yaklaşım kullanarak mobilya köşe birleştirmelerinin sünme davranışının modellenmesinde, Yılmaz ve Güntekin (2012), katı elemanlar (3D) ve izotropik malzeme özellikleri kullanarak sandalye yan çerçevelerinin rijitlik analizinde, Aydın ve Aydın (2017) katı elemanlar ve ortotropik malzeme özellikleri kullanarak zıvanalı birleştirilmiş sandalye yan çerçevelerinin rijitlik analizinde, Güray vd. (2022) kiriş elemanlar ve izotropik malzeme özellikleri kullanarak koltuk iskeletlerinin gerilme analizinde, Kaygın vd. (2016) kavelalı ve zıvanalı birleştirmelerin izotropik malzeme özellikleri ve dinamik yükleme kullanarak modellenmesinde, Kasal (2006) koltuk iskeletlerinin modellenmesinde Ceylan vd. (2021) sandalye iskeletlerinin tekrarlı yük altındaki davranışının modellenmesinde kullanmışlardır. SEM son yıllarda üretim süreçlerinin bir parçası olmuştur. SEM ile yapılan çalışmaların sayısı 1980 yılında binlerde 2000'li yıllarda milyonlar seviyelerine çıktığı söylenebilir (Tekkaya ve Soyarslan, 2014).

Bu çalışmada karaçam ve kayın kullanılarak üretilen kavelalı köşe birleştirmelerinin eğilme davranışları deneysel ve nümerik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Nümerik yöntemler izotropik ve ortotropik modellemeleri içermektedir.

## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada kullanılan ağaç malzemeler ve birleştirmeler mobilya imalatı yapan bir firmadan temin edilerek %65±3 rutubet ve 21±1 °C sıcaklıkta ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kullanılan malzemelerin bazı fiziksel özellikleri ile eğilme özellikleri belirlenmiştir.

Rutubet miktarı TS ISO 13061-1 (2021) standardına göre eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$R_M = M - M_0 / M_0 \times 100 \quad (1)$$

Burada;

$R_M$ : Rutubet miktarı (%)

$M$ : Hava kurusu ağırlık (g)

$M_0$ : Tam kuru ağırlık (g)

Yoğunluk TS ISO 13061-2 (2021) standardına göre eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d = M / V \quad (2)$$

Burada;

$d$ : Hava kurusu yoğunluk ( $g/cm^3$ ),

$M$ : Hava kurusu ağırlık (g),

$V$ : Hava kurusunda sahip olduğu hacim ( $cm^3$ ).

Her örnek grubu için on örnek test edilmiştir. Tüm testler 21°C'lik oda sıcaklığında ve %65'lik sabit bağıl nemde gerçekleştirilmiştir. Test edilen örneklerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü sırasıyla TS ISO 13061-3 (2021) ve TS ISO 13061-4 (2021) standartlarına göre eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E.D. = 3P_{max}l / 2bh^2 \quad (3)$$

$$E.M. = Pl^3 / 4bh^3f \quad (4)$$

Burada:

$E.D.$  = eğilme direnci ( $N/mm^2$ ),

$E.M.$  = elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ),

$P$  = elastik deformasyon bölgesindeki yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalaması arasındaki farka eşit bir kuvvettir (N),

$P_{max}$  = test sırasındaki maksimum kuvvet (N)

$l$  = dayanaklar arasındaki mesafe (mm),

$b$  = test numunesinin yıllık halkalara dik genişliği (mm),

$h$  = test numunesinin yıllık halkalara teğet genişliği (mm),

$f$  = elastik deformasyon bölgesindeki  $P$  kuvvetine karşılık gelen net eğilme.

Kullanılan karaçam ve kayın örneklerin %0.2'lik akma direnci ve plastik bölgedeki tanjant modülleri de hesaplanmıştır. Bu değerler kayın ve karaçam kullanılarak üretilmiş kavelalı birleştirmelerin doğrusal olmayan plastik davranışının modellenmesinde kullanılmıştır.

### 2.2. Birleştirmelerin test edilmesi

Çalışmada kullanılan birleştirmelerin ölçüleri Şekil 1a'da gösterilmiştir. Eleman kalınlıkları 22 mm'dir. Birleştirme elemanları 10 mm çapında 48 mm uzunluğunda kayın kavela ve PVAc tutkalı kullanılarak birleştirilmiştir. Kavelalar için her iki elemanda da 10 mm çapında ve 24 mm derinliğinde delik açılmıştır. Birleştirmeler, Şekil 1b'de verilen deney düzeneği ile 50 kN yük kapasitesine sahip SHIMADZU üniversal test cihazında 6 mm/dk test hızı ile statik yüke maruz bırakılarak yük-deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Birleştirmelerin rijitliği ve direnci (maksimum moment) eşitlik 5 ve 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$k = \frac{\Delta M}{\Delta \gamma} \quad (5)$$

$$M_{max} = P_{max}l \quad (6)$$

Burada:

$P_{max}$  = maksimum yük (N),

$l$  = moment kolu (m).

$\Delta M$  = moment artışı (Nm),

$\Delta \gamma$  = rotasyon açısı artışı (rad),

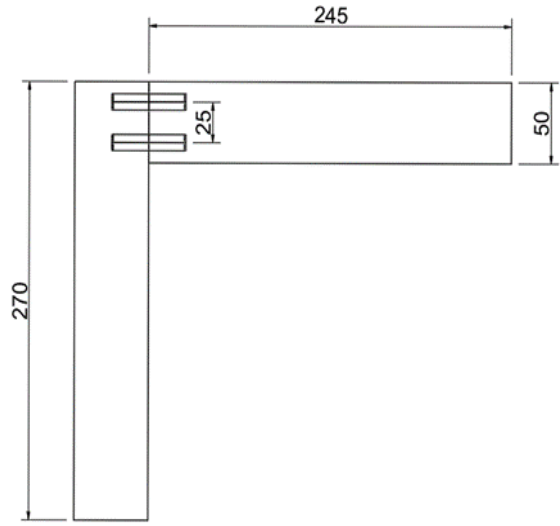
$M_{max}$  = Maksimum moment (N.m).

### 2.3. Sayısal analiz

Sayısal hesaplamalar ANSYS Mechanical APDL v.2023 (ANSYS, Inc. Canonsburg, Pa, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Kavelalı birleştirmelerin sayısal modellerinde izotropik ve ortotropik malzeme özellikleri kullanılmıştır. Çalışmada izotropik modelleme için elastikiyet modülü değerleri olarak test edilen malzemelerin elastikiyet modülleri ve Poisson oranı olarak 0.3 kullanılmıştır. Ortotropik modellemede kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, izotropik malzeme özelliklerinin yanında akma gerilmesi ve tanjant modülü değerleri kullanılmıştır. Sayısal modelin ayrıklaştırılması, yaklaşık 6.000 eleman ve 10.000 düğüm içeren solid186 elemanı kullanılmıştır. Solid186, ikinci dereceden yer değiştirme davranışı sergileyen, yüksek dereceli, 3 boyutlu, 20 düğümlü bir katı elemandır. Şekil 1b'de gösterildiği gibi modellenen kavelalar ve birleştirme elemanları arasında mükemmel bir bağ olduğu varsayılarak yazılımın yapılandırma

komutu (Vglue) uygulanmıştır. Test edilen birleştirmeler ile karşılaştırma yapmak için farklı yüklemeler altında deformasyon değerleri okunmuştur. Sayısal analizin bir çıktısı olarak farklı noktalardaki gerilmeler ve gerilme yoğunlaşmaları ayrıca görülebilmektedir. Şekil 2'de ANSYS

kullanılarak oluşturulan model ve ağ yapısı (mesh) gösterilmektedir. Plastiklik, akma ve tanjant modülü, ANSYS aracılığıyla sunulan gerinim sertleşmesi (strain hardening ya da pekleşme) seçeneği kullanılarak tanıtılmıştır.



a)



b)

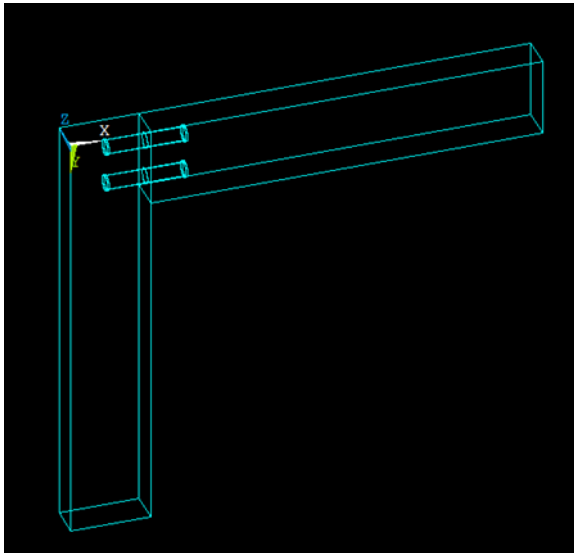
Şekil 1. Çalışmada test edilen birleştirmelerin ölçüleri, mm (a) ve yükleme şekli (b)

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ortotropik malzeme özellikleri,

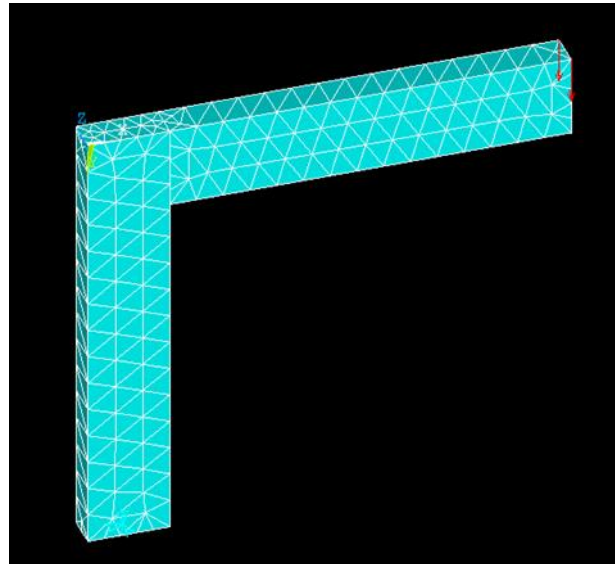
| Ağaç türü            | $E_L$<br>N/mm <sup>2</sup> | $E_R$<br>N/mm <sup>2</sup> | $E_T$<br>N/mm <sup>2</sup> | $G_{LR}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $G_{LT}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $G_{RT}$<br>N/mm <sup>2</sup> | $\nu_{LR}$ | $\nu_{LT}$ | $\nu_{RT}$ |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------------|
| Karaçam <sup>1</sup> | 8552                       | 1395                       | 376                        | 1058                          | 1002                          | 130                           | 0.64       | 0.69       | 0.6        |
| Kayın <sup>2</sup>   | 13960                      | 2284                       | 1160                       | 1645                          | 1082                          | 471                           | 0.45       | 0.33       | 0.78       |

<sup>1</sup>Güntekin ve Demiralp, 2017, <sup>2</sup>Smardzewski, 2015.

$E_i$  = Elastikiyet modülü,  $G_{ij}$  = Kesme modülü,  $\nu_{ij}$  = Poisson oranı



(a)



(b)

Şekil 2. Çalışmada test edilen model (a) ve ağ yapısı (b)

### 3. Bulgular ve tartışma

Çalışmada test edilen malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de bulunmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre karaçam eğilme örnekleri daha yüksek varyasyon katsayısına sahip olduğu söylenebilir. Test edilen karaçam ve kayın örneklerinin yoğunluk ve eğilme özelliklerinin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir (Güntekin vd., 2016; Güntekin ve Demiratlı, 2017)

Test edilen karaçam ve kayın için ortalama gerilme-deformasyon eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Eğilme eğrileri bu ağaç türü odunlarının eğilme davranışının çift doğrusal olduğunu göstermektedir. Bu kayın odununda daha belirgindir.

Test edilen birleştirmelerin maksimum moment taşıma kapasiteleri (N.m) ve rijitlik değerleri (N.m/rad) Çizelge 3'te sunulmuştur. Karaçam'dan üretilen birleştirmelerin daha yüksek varyasyona sahip oldukları görülmektedir.

Test edilen birleştirmelerde elde edilen yük-deformasyon eğrileri Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Test edilen eğrilerin doğrusala yakın özellikte olduğu görülmektedir. Çalışmada hesaplanan maksimum moment taşıma kapasiteleri ile rijitlik

değerlerinin literatürde bulunan çalışmalar ile uyumlu olduğu söylenebilir. Hao vd., (2020) kavak kullanarak üretilen, 8 mm çapında ve 40 mm uzunluğunda kayın kavelalı birleştirmelerinin moment taşıma kapasitelerini teorik olarak tahmin etmiş ve kavala çapına bağlı olarak yaklaşık 50-60 N.m arasında olduğunu göstermiştir. Karaman (2021) tarafından yapılan bir çalışmada aynı kavala ölçüleri kullanıldığında elde edilen maksimum moment ağaç türüne bağlı olarak yaklaşık 81 ile 116 N.m arasında bulunmuştur. Test edilen birleştirmelerin rijitlik değerleri ise Warmbier ve Wilczynski (2000) tarafından belirtilen değerlerin altında bulunmuştur.

Çalışmada test edilen birleştirmelerin yük-deformasyon eğrileri ile sayısal modellerden elde edilen eğrilerin karşılaştırması Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması, kavelalı birleştirmelerde maksimum moment noktasına kadar olan deformasyon davranışının, ANSYS'in simülasyon sonuçlarıyla çoğunlukla iyi bir uyum içinde olduğunu göstermiştir. Nümerik modeller, kavala ve birleştirme elemanları arasında mükemmel bir yapışma olduğunu varsaymaktadır.

Çizelge 2. Kullanılan malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

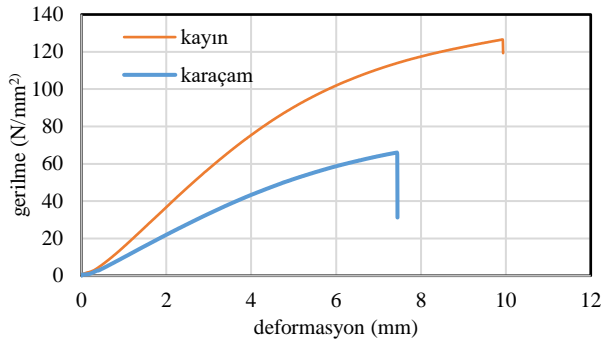
| Ağaç türü | Yoğunluk g/cm <sup>3</sup> | Rutubet (%)  | E.M. N/mm <sup>2</sup> | E.D. N/mm <sup>2</sup> | Akma direnci N/mm <sup>2</sup> | Tanjant Modülü N/mm <sup>2</sup> |
|-----------|----------------------------|--------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Karaçam   | 0.5 (0.01)*                | 10.21 (0.18) | 7323 (1844)            | 66.86 (15.5)           | 62.42 (17)                     | 4125 (1055)                      |
| Kayın     | 0.65 (0.007)               | 9.77 (0.25)  | 13595 (847)            | 124.5 (9.7)            | 106.1 (6)                      | 5966 (568)                       |

\*parantez içindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.

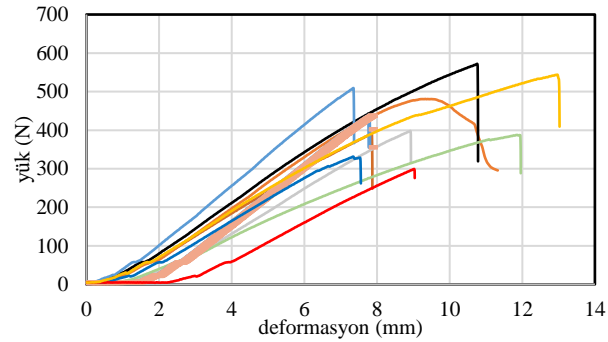
Çizelge 3. Çalışmada test edilen birleştirmelerin esneklik ve direnç değerleri

| Ağaç türü | Rijitlik (k) (N.m/rad) | Direnç (M <sub>max</sub> ) (N.m) |
|-----------|------------------------|----------------------------------|
| Karaçam   | 3701 (552)*            | 107 (22)                         |
| Kayın     | 4776 (609)             | 156 (20)                         |

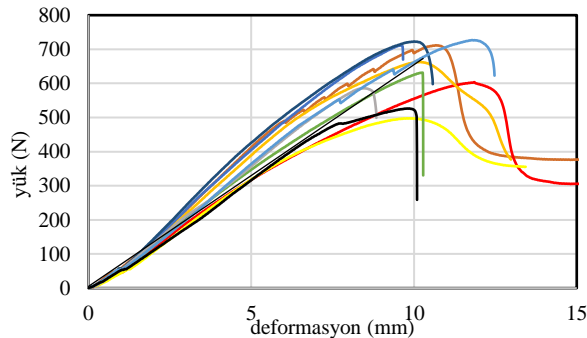
\*parantez içindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.



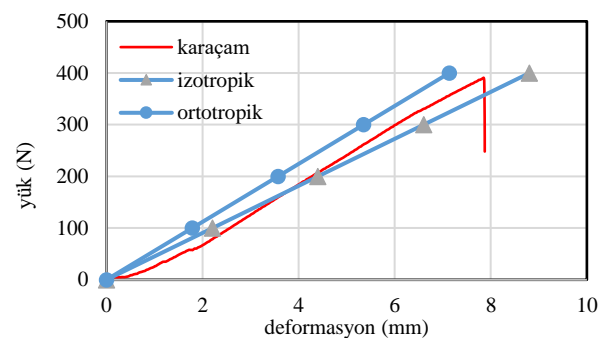
Şekil 3. Test edilen ağaç türlerinin ortalama gerilme-deformasyon eğrileri



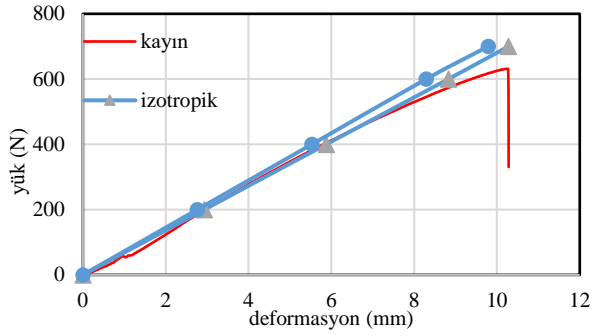
Şekil 4. Test edilen karaçam birleştirmelerinden elde edilen yük-deformasyon eğrileri



Şekil 5. Test edilen kayın birleştirmelerinden elde edilen yük-deformasyon eğrileri.



Şekil 6. Test edilen karaçam birleştirmelerinden elde edilen ortalama yük-deformasyon eğrisinin sayısal modeller ile karşılaştırılması.



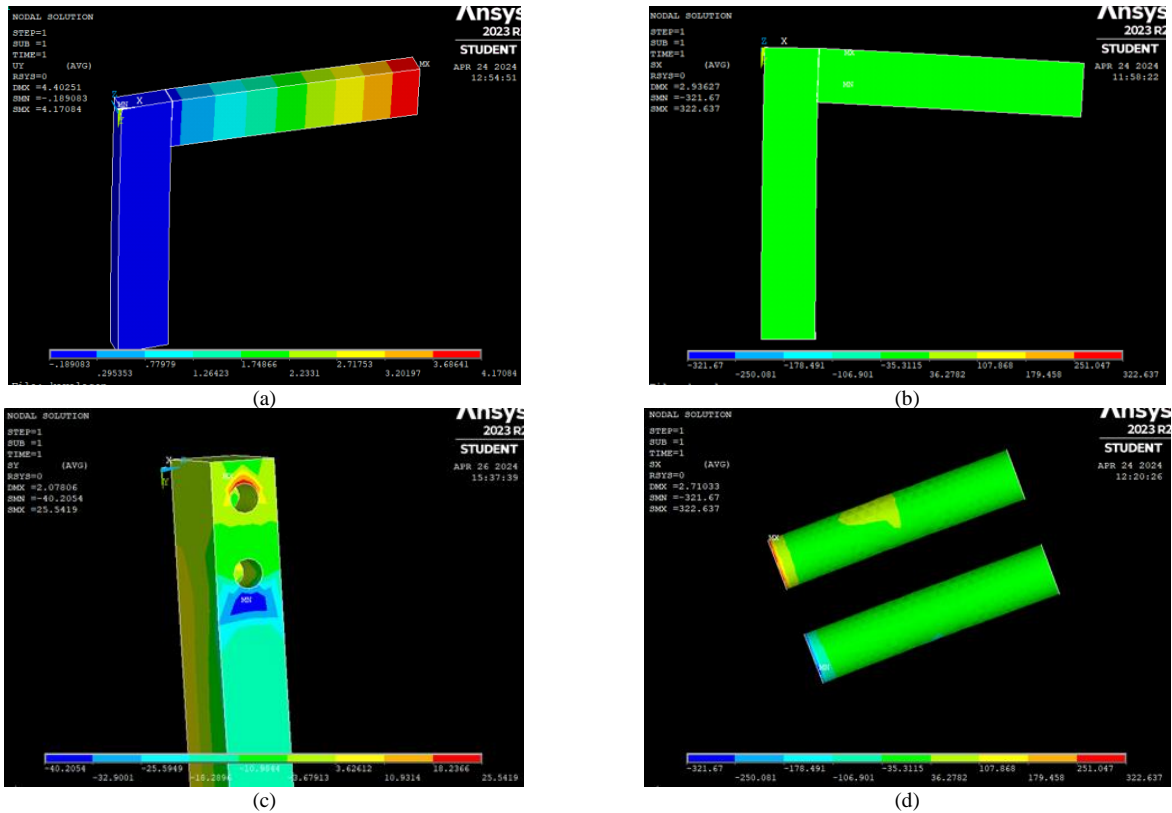
Şekil 7. Test edilen kayın birleştirmelerinden elde edilen ortalama yük-deformasyon eğrisinin sayısal modeller ile karşılaştırılması.

Kayın birleştirmelerin modellenmesinde izotropik ve ortotropik malzeme özellikleri kullanılarak elde edilen yük-deformasyon eğrileri birbirine çok benzerken, karaçam birleştirmelerin modellenmesinde iki eğri arasında fark olduğu görülmektedir. Bu karaçamın yüksek oranda varyasyona sahip olmasından kaynaklanabilir. Ülkemizde yapılan çalışmalarda karaçam odunun elastikiyet modülünün 6000 ile 11000 N/mm<sup>2</sup> arasında değiştiği görülmektedir (Güntekin ve Demiratlı, 2017). Yapılan istatistik analizde ortotropik modeller ile hesaplanan birleştirme rijitliği ile deneysel sonuçlar arasında anlamlı bir fark olmadığı, izotropik modellerin ise küçükte olsa bir fark oluşturduğu görülmüştür.

Birçok çalışma, yük altındaki ahşap elemanların sayısal modeller kullanılarak analiz edilebileceğini göstermiştir (Alade ve Ibrahim, 2023). Bazı çalışmalarda deformasyonun test sonuçlarına göre daha az olduğu sonucuna varmıştır. Ahşabın görünmeyen kusurları ve düzensizlikleri olduğunu kabul ettiğimizde sayısal modellerin daha az deformasyon vermesi beklenebilir. Bazı modelleme çalışmalarında izotropik malzeme özelliklerinin kullanılması ile elastik bölgedeki davranışın tahmin edilmesinde ortotropik malzeme özelliklerini kullanılmasına göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür (Kljak vd., 2018).

Sayısal modellerde birleştirme elemanlarının kavelalara göre daha düşük bir seviyede gerilmeye maruz kaldığını göstermektedir (Şekil 8b). Kavelalarda ise gerilme yoğunlaşmalarının özellikle kavela uç noktalarında olduğu görülmektedir (8d). Benzer sonuçlar Gawroński (2006) tarafından zıvanalı birleştirmeler için sunulmuştur. Bu stres yoğunlaşmaları tutkal tabakasındaki delaminasyonu göstermektedir.

Birleştirmelerde kırılma şekli iki şekilde görülmektedir. Birincisi, kavelalardaki yapışmadan kaynaklanan ve gözlemlenmeyen hasar şeklinde tanımlanabilir. Kırılma her ne kadar görünür olmasa da, çıkardığı ses ile anlaşılmaktadır. Test sürdürüldüğünde iki eleman arasındaki çekme bölgesindeki açılma bunu teyit etmektedir (Şekil 9a). İkinci kırılma şekli ise liflere dik gerilmeden kaynaklanan kırılmadır (9b). Sayısal modellerde bu açılma görülmektedir, ayrıca kırılma olasılığının işareti olan gerilme yoğunlaşmaları görülmektedir (Şekil 8 c, d; Şekil 9b).



Şekil 8. Sayısal modelleme sonuçları (a). Birleştirmede deformasyon, (b) Birleştirmelerde oluşan gerilme, (c). Dikey elemenda delikler etrafında oluşan gerilmeler, (d) Kavelalarda oluşan gerilmeler.



Şekil 9. Testlerde görülen kırılma şekilleri; a) açılma b) liflere dik kırılma

#### 4. Sonuç

Çalışma sonuçları karaçam ve kayın odunu kullanılarak üretilen kavelalı mobilya birleştirmelerinin eğilme davranışının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenebileceğini göstermektedir. Çalışmada modellenen kayın birleştirmeler için izotropik ve ortotropik malzeme özelliklerinin kullanılması bu tür düzleme gerilme problemlerinin çözümünde farklı bir sonuç üretmezken, karaçam birleştirmelere için küçük farklar gözlemlenmiştir. Bu da karaçamın mekanik özelliklerinin değişkenlik göstermesiyle açıklanabilir. Farklı geometrik ölçüler kullanılarak tasarlanan kayın ve karaçam birleştirmelerinin eğilme davranışı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenebilir.

Nümerik modellerin doğruluğu, kullanılan elemanların türüne ve sayısına, geometriye ve yükleme şemasına bağlı olabilir. Katı elemanlar, düzlem elemanlara göre daha iyi tahmin sağlayabilir ve ikinci dereceden elemanlar, birinci dereceden elemanlara göre daha yüksek doğruluk derecesine sahiptir. Düzlem problemlerin nümerik modellemesinde orta düzeyde eleman sayısı, izotropik malzeme özellikleri ve akma noktasının/tanjant modülü kullanılması doğru sonuçlar verebilir. Ortotropik malzeme özellikleri daha gerçekçi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

#### Açıklama

Bu çalışma TÜBİTAK BİDEB (2209 B) tarafından desteklenmiştir.

#### Kaynakça

- Alade, A.A., Ibrahim, A., 2023. Application of finite element method for mechanical characterization of wood and reconstituted lignocellulosic-based composites – A review. *Recent Progress in Materials*, 5 (1): 1-24. doi:10.21926/rpm.2301003
- Aydın, M., Yılmaz Aydın, T., 2017. Sandalye çerçevesinin CATIA ile sonlu elemanlar analizi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 621-631.
- Ceylan, E., Güray, E., Kasal, A., 2021. Structural Analyses of wooden chairs by finite element Method (FEM) and assessment of the cyclic loading performance in comparison with allowable design loads. *Maderas Ciencia y tecnología*, 23:(19) 1-16. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100419
- Chen, M., Li X.M., Lyu, J.H., 2018. Influence of dowel diameter and curing time on strength of double dowel joint. *Wood Research*, 63(4): 591–8.

- Diler, H., Kasal, A., Demirci, S., Kuşkun, T., 2013. T-Tipi mobilya birleştirmelerinde ağaç türü, tutkal çeşidi ve zıvana ölçülerinin çekme kuvveti kapasitesine etkileri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2): 287-299
- Eckelman, C.A., Erdil Y.Z., Zhang J., 2002. Withdrawal and bending strength of dowel joints constructed of plywood and oriented strandboard. *Forest Products Journal*, 52(9): 66–74.
- Eckelman, C.A., 1971. Bending strength and moment-rotation characteristics of two-pin moment-resisting dowel joints. *Forest Products Journal*, 21(3): 35–9.
- Efe, H., Zhang, J., Erdil, Y.Z., Kasal, A., 2005. Moment capacity of traditional and alternative Ttype end-to-side-grain furniture joints. *Forest Products Journal*, 55(5): 69–73.
- Gawronski, T., 2006. Rigidity-strength models and stress distribution in housed tenon joints subjected to torsion. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 9(4): 1-9.
- Gustafsson, S.I., 1995. Furniture design by use of the finite element method. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 53(4): 257-260.
- Gustafsson, S.I., 1996. Finite element modelling versus reality for birch chairs. *Holz als Roh-und Werkstoff*, 54(5): 355-359.
- Gustafsson, S.I., 1997. Optimising ash wood chairs. *Wood Science and Technology*, 31(4): 291-301.
- Güntekin, E., 2004. Kavelalı mobilya köşe birleştirmelerinin sonlu elemanlar analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 1: 159-169.
- Güntekin, E., Yılmaz Aydın, T., Niemi, P., 2016. Some orthotropic elastic properties of *Fagus orientalis* as influenced by moisture content. *Wood Research*, 61(1): 95-104.
- Güntekin, E., Demiratlı, S., 2017. Influence of moisture content on some elastic constants of black pine subjected to compression. *Pro Ligno*, 13(2): 21-26.
- Güray, E., Ceylan, E., Kasal, A., 2022. Weight-strength optimization of wooden household chairs based on member section size. *Maderas. Ciencia y tecnología*, (24):31 1-14. DOI: 10.4067/s0718-221x2022000100431
- Hao, J. Xu, L., Wu, X., Li, X., 2020. Analysis and modeling of the dowel connection in wood T type joint for optimal performance. *Composite Structures*, 253, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112754.
- Karaman, A., 2021. Bending Moment Resistance of T-Type Joints Reinforced With Basalt and Glass Woven Fabric Materials. *Maderas Ciencia y tecnología*, (23): 44, 1-12. DOI: 10.4067/s0718-221x2021000100444
- Kasal, A., 2006. Determination of the strength of various sofa frames with finite element analysis, *Gazi Üniversitesi Journal of Science* 19(4), 191-203.
- Kasal, B., Püllela, S.V., 1995. Development of analytical models for furniture. *Technical Note*, 80 p. Furniture manufacturing and Management Center, North Carolina State University.
- Kaygın, B., Yorur, H., Uysal, B., 2016. Simulating strength behaviors of corner joints of wood constructions by using finite element method. *Drvna industrija*, 67:(2) 133-140. doi:10.5552/drind.2016.1503



- Kljak, J., Španić, N., Jambrekočić, V., 2018. Comparison of finite element models for particle boards with homogenous and three-layer structure. *Drvna Industrija*, 69(4): 311-316. doi:10.5552/drind.2018.1764
- Smardzewski, J., 1998. Numerical analysis of furniture constructions. *Wood Science and Technology*, 32(4): 273-286. <https://doi.org/10.1007/BF00702895>
- Smardzewski, J., 2015. *Furniture Design*. Springer, Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19533-9>
- Tekkaya, A.E., Soyarslan, C., 2014. Finite Element Method. In: Laperrière, L. & Reinhart, G. (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 508–514. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7\\_16699](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_16699).
- TS ISO 13061-1. 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 1: Fiziksel ve mekanik deneyler için nem muhtevasının belirlenmesi. TSE, Ankara
- TS ISO 13061-2. 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri – Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 2: Fiziksel ve mekanik deneyler için yoğunluğun belirlenmesi. TSE, Ankara
- TS ISO 13061-3. 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede nihai mukavemet tayini. TSE, Ankara
- TS ISO 13061-4. 2021. Odunun fiziksel ve mekanik özellikleri - Kusursuz küçük ahşap numunelerin deney yöntemleri - Bölüm 3: Statik eğilmede elastikiyet modülü tayini. TSE, Ankara
- Yılmaz, T., Güntekin, E., 2012. Sandalye çerçevelerinin sonlu elemanlar analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13: 134-139.
- Warmbier, K., Wilczynski, A., 2000. Strength and stiffness of dowel corner joints – Effect of joint dimensions. *Folia Forestalia Polonica*, B(31): 29-41.
- Zaborsky, V., Kamboy, G., Sikora, A., Boruvka, V., 2019. Effects of selected factors on Spruce dowel joint stiffness. *BioRes.*, 14(1): 1127–40. DOI:10.15376/biores.14.1.1127-1140.
- Zhang, J., 2001. Bending strength and stiffness of two-pin dowel joints constructed of wood and wood composites. *Forest Products Journal*, 1(2): 29–35.
- Zhang, J., Eckelman C.A., 1993. The bending moment resistance of single-dowel corner joints in case construction. *Forest Products Journal*, 43(6): 19–24.

# İç mekân tasarımında kullanılan dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış lif levhaların fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri üzerine reçine türünün etkisi

Celal Uğur<sup>a,\*</sup> 

**Özet:** Dekoratif kağıt endüstrisi oldukça rekabetçi bir endüstriyel sektördür. Yüzevi lamine edilmiş orta yoğunluklu lif levha (MDF) ve yonga levhalara yönelik emprenyeli kağıt üreticilerinin kâr marjını artırmak için üretim maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaları gerekmektedir. Melamin formaldehit reçinesi (MF) formülasyonları bu tür kağıtların emprenye edilmesi ve kaplanması için yaygın olarak kullanılan maliyetli bir hammaddedir. Bu çalışmada, yeni bir melamin-üre-formaldehit reçinesi formülasyonu kullanılarak reçine emdirilmiş dijilam dekor kağıdının MDF levhanın fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Dijilam dekor kağıtlarının emprenye işleminde %100 melamin (MF) ve %100 üre formaldehit (ÜF) ve %50 MF+%50 ÜF reçinesi kullanılmıştır. Fiziksel özelliklerde 24 saatte minimum su alma (SA) ve kalınlığa şişme (KŞ) değerleri sırasıyla ÜF'de %21,93 ve %1,81, MF'de %16,84 ve 1,22 ÜF+MF'de %13,79 ve %1,06 olarak elde edilmiştir. Mekanik özelliklerde eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri sırasıyla ÜF'de 32,14 ve 3957,73 N/mm<sup>2</sup>, MF'de 40,39 ve 6983,82 N/mm<sup>2</sup> ÜF+MF'de 36,96 ve 5290,06 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Yüzey testlerinden elde edilen verilerin basit istatistiksel analiz sonuçları, MF ve ÜF+MF kullanılarak üretilen dijilam dekor kağıtlarla kaplanmış levhalarda lekelenmeye, su buharına ve çizilmeye karşı mukavemet değerlerinin ilgili standartlarda istenen limitleri sağladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, MF emdirilmiş dijilam dekor kağıtlarla kaplanmış levhalardan daha iyi performans göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dijilam dekor kağıdı, Fiziksel özellikler, Laminasyon, Mekanik özellikler

## The effect of resin type on the properties of fibreboards coated with digilam decor papers used in interior design

**Abstract:** The decorative paper industry is a highly competitive industrial sector. Manufacturers of impregnated paper for face-laminated medium-density fibreboard (MDF) and particleboard need to significantly reduce production costs to increase profit margins. Melamine formaldehyde resin (MF) formulations are a costly raw material widely used for impregnating and coating such papers. In this study, the effect of resin-impregnated digilam decor paper on the physical, mechanical and surface properties of MDF board was investigated using a new melamine-urea-formaldehyde resin formulation. 100% melamine (MF), 100% urea formaldehyde (UF) and 50% MF + 50% UF resin were used in the impregnation process of the digilam decorative papers. In physical properties, the minimum water absorption and thickness swelling values after 24 hours of soaking in water are 21.93% and 1.81% in UF, 16.84% and 1.22% in MF, 13.79% and 1.22% in UF+MF, respectively. In mechanical properties, the values of bending strength and modulus of elasticity in bending were obtained as 32.14 and 3957.73 N/mm<sup>2</sup>, in UF, 40.39 and 6983.82 N/mm<sup>2</sup> in MF, and 36.96 and 5290.06 N/mm<sup>2</sup> in UF+MF, respectively. The results of simple statistical analysis of the data obtained from the surface tests have determined that the resistance values against staining, water vapor and scratching on the board covered with digilam decorative papers produced using MF and UF + MF meet the limits required in the relevant standards. As a result, the boards covered with MF impregnated digilam decorative papers showed better performance than the boards coated with UF and UF+MF impregnated digilam decorative papers.

**Keywords:** Digilam decor paper, Physical properties, Lamination, Mechanical properties

### 1. Giriş

MDF kullanım alanlarında ortam faktörlerinden etkilenmektedir. Bu faktörlerin neden olduğu hasarı azaltmak amacıyla lignoselülozik esaslı levhalar kaplama malzemeleri ile kaplanmaktadır. MDF levhalar her ne kadar iç mekân uygulamalarında kullanılsada hidroskopik yapıları performansları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

MDF hammadde olarak ağaç lifi veya diğer bitki lifleri kullanılarak ve üre-formaldehit reçinesi uygulanarak optimum basınç ve sıcaklık altında üretilen bir levha türüdür (Ashori vd., 2009). Özgül ağırlığı 0,50 ile 0,80 kg/m<sup>3</sup> arasında

olan bir lif levha, orta yoğunluklu lif levha olarak sınıflandırılır (Ye vd., 2007).

MDF gibi çeşitli ahşap esaslı paneller giderek daha popüler hale gelmekte mobilya, iç mekân, dolap ve çeşitli yapı ürünlerinde kullanılmaktadır (Wang, 2013). Nihai kullanımlarına ilişkin özel gereksinimleri karşılamak amacıyla, ahşap esaslı levhaların çoğu, levhaların mekanik özelliklerini iyileştirebilen, nem ve su emilimine karşı direnç gösterebilen dekor kağıtları ile lamina edilmektedir (Enzensberger, 1961).

Günümüzde lif levhalar, emprenye edilmiş kâğıt, boya, baskı, vernik, kaplama, laminat, folyo vb. ile kaplanmaktadır.

✉ <sup>a</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): celal\_ugur27@hotmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 12.04.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 24.07.2024



**Citation** (Atf): Uğur, C., 2024. İç mekân tasarımında kullanılan dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış lif levhaların fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri üzerine reçine türünün etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 320-324. DOI: [10.18182/tjf.1463797](https://doi.org/10.18182/tjf.1463797)

Laminasyon işlemi, fiziksel, mekanik ve optik özelliklerin iyileştirilmesinin yanı sıra malzemeye estetik görünüm kazandıran bir işlemdir.

Laminasyon işlemiyle elde edilen ana yüzey özellikleri çizilmeye, aşınmaya, neme, ısıya ve bazı kimyasallara karşı dayanıklıdır. Bu uygulamaların amaçları fiziksel, mekanik ve yüzey özelliklerini arttırmak, su ve nem emilimini baskılamak ve formaldehit salınımını ortadan kaldırmaktır (Nemli vd., 2004; Nemli ve Çolakoğlu, 2005; Nemli ve Kalaycıoğlu, 2007; Nemli ve Hızıroğlu, 2009; Özdemir vd., 2009). Laminasyonla yüzey iyileştirme, laminasyonda kullanılan malzemeye ve laminasyonda kullanılan sisteme bağlıdır (Ahonen, 1977; Özdemir vd., 2009).

Dijilam dekor kâğıdı, özel sentetik reçineler kullanılarak levha yüzeyine yapıştırılan yüksek kaliteli özel bir kağıttır. Reçine ile emprenye edilmiş kağıtlar, endüstriyel sınıf yonga levha ve lif levha için kaplama malzemesi olarak geniş çapta kabul görmüştür. Emprenye işleminde kullanılan kağıtların yüksek nem direncine ve uygun miktarda reçineyi kabul edecek doğru gözenekliliğe sahip olması gerekir. Kağıdın ÜF, MF, fenolik reçineler ve bunların karışımlarını içerebilen uygun sentetik reçinelerle emprenye edilmesi de mümkün olmalıdır. Kaplama, yüksek basınç ve ısı altında yonga levhalar veya diğer alt tabakalar ile lamine edilir. Kullanılan dekor kağıdının niteliği, reçine türü, yardımcı kimyasallar ve üretim şartları laminasyon kalitesini etkileyen temel faktörlerdir (Hızıroğlu, 1999). ÜF ve MF reçineleri panel ve kaplama malzemelerinin üretiminde bağlayıcı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Sellers, 1996).

Laminasyon uygulamalarında genel olarak ÜF ve MF reçineleri kullanılmaktadır. Emprenye işleminde kullanılan reçinenin üretim öncesi viskozitesi, jelleşme süresi ve pH değerlerine bakılmaktadır. Daha sonra alfa-selüloz kağıdı reçine çözeltisi içerisine iyice daldırılır ve dozajlama

silindirinden geçerek hava çekişli tünel fırında 80 ile 170 °C sıcaklık aralığında istenilen akış hızıyla kurutulmaktadır.

MF reçineleri genellikle bağlayıcı olarak kullanılır. Kağıtlara yüzey düzgünlüğü ve mükemmel su direnci avantajı sağlar. Bu nedenle melamin emdirilmiş kağıtlar mobilya üniteleri, laboratuvar tezgâhları üretiminde kullanılan malzemeler ve diğer çeşitli iç mekan uygulamaları en yaygın kullanılan kağıtlardan biridir (Enzensberger, 1961). ÜF reçineleri MF reçinelerine nazaran daha ekonomik olduğu için tercih edilirler. Ancak üre reçinesi diğer reçinelere nazaran daha düşük mukavemet değerleri vermektedir. Bundan dolayı istenilen şartlara ve standartlara uygun emprenye işlemi yapabilmek için kullanılacak reçine karışımlarının optimum özellikleri verecek değerlerde olmasına dikkat edilmelidir.

Bu çalışmada, farklı reçinelerle emprenye edilmiş dijilam dekor kağıtları ile kaplanan MDF levhaların bazı fiziksel, mekanik ve yüzey kalitesi özelliklerine reçine türünün etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada kullanılan MDF levhalar ve dijilam dekor kağıtları ticari bir işletmeden temin edilmiştir. Kaplama malzemesi olarak 80 g/m<sup>2</sup> emprenye edilmiş dijilam dekor kağıtları kullanılmıştır (Şekil 1).

Ticari bir işletmeden temin edilen ham kağıtların yüzeyine Şekil 1'de örnekleri gözüken tasarım şekilleri uygulanmış ve farklı tasarım modellerine sahip kağıtlar %100 ÜF, %100 MF ve %50 ÜF+%50 MF reçineleri kullanılarak emprenye edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan ÜF ve MF reçinelerinin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Laminasyon işleminde pres sıcaklığı 195-210 °C pres basıncı 30 bar ve pres süresi 20 sn olarak ayarlanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan dijilam dekor kağıtları

Bu işlemler Türkiye'deki ticari bir tesis üretim hattında gerçekleştirilmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla her test için 30'ar numune ve yüzey özelliklerini belirlemek amacıyla her test için beş numune hazırlanmıştır. Her test numunesi önce ortalama %12 rutubet içeriğine ulaşacak şekilde 20 °C ve %65 bağıl nemde şartlandırılmıştır. Daha sonra test numuneleri testlere hazır hale gelinceye kadar iklimlendirme işlemine tabi tutulmuştur (Bektaş vd., 2005; Güler ve Sancar, 2017).

Lamine MDF levhanın fiziksel, mekanik ve yüzey özellikleri ilgili standartlara göre belirlenmiştir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen testlerden, Su alma ve kalınlığa şişme TS EN 317 (2005), Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü TS EN 310 (1999), su buharına karşı dayanım, lekelenmeye karşı dayanım, çizilme direncine karşı dayanım ve sigara ateşine karşı dayanım TS 14323 (2006)'ya uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel ve mekanik testlere ilişkin veriler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Gruplar arasında farklılıkların önemini belirlemek için ANOVA ( $P<0,05$ ) uygulanmıştır. Çıkan sonuçların gruplar arasında anlamlı bir fark olup olmadığı DUNCAN testi ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Melamin ve üre formaldehit reçinesinin özellikleri

| Reçine tipi         | Özellik                       | Değeri    |
|---------------------|-------------------------------|-----------|
| Melamin formaldehit | Çözelti (%)                   | 65±1      |
|                     | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | 1240-1260 |
|                     | PH (20 °C)                    | 9,0-9,60  |
|                     | Viskozite (20 °C)(Pa.s)       | 14-16     |
|                     | Jelleşme süresi(sn)           | 2,30-3,30 |
| Üre formaldehit     | Çözelti (%)                   | 55±1      |
|                     | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | 1190-1240 |
|                     | pH (20 °C)                    | 7,5-9     |
|                     | Viskozite (20 °C)(Pa.s)       | 14-16     |
|                     | Jelleşme süresi (sn)          | 20-30     |

### 3. Bulgular ve tartışma

Farklı reçine kullanarak emprenye edilmiş dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış MDF levhaların basit varyans analizi (ANOVA) ve DUNCAN testleri sonuçları ile birlikte KŞ ve SA gibi fiziksel özelliklerinin ortalama, standart sapması ve varyasyon katsayısı Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'de görülebileceği gibi, laminasyon işleminden sonra yapılan testler MDF levhaların fiziksel özelliklerinde bazı değişiklikler olduğunu göstermiştir. Laminasyon işlemi sonrasında MDF levhaların KŞ ve SA değerlerinde en yüksek değerler, kontrol numunelerinde elde edilmiştir.

Farklı reçine kullanarak emprenye edilmiş dijilam dekor kağıtları ile lamine edildikten sonra MDF levhaların SA ve KŞ değerleri azalmıştır. 2 saatte minimum SA ve KŞ değerleri sırasıyla ÜF'de %5,88 ve %0,46, MF'de %4,53 ve 0,36 ÜF+MF'de %4,85 ve %0,16 olarak elde edilirken 24 saatte minimum SA ve KŞ değerleri sırasıyla ÜF'de %21,93 ve %1,81, MF'de %16,84 ve 1,22 ÜF+MF'de %13,79 ve %1,06 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen su alma ve kalınlığa şişme verileri TS EN 317 (2005)'ye uygun bulunmuştur. Dijilam dekor kağıdı ile kaplanmış numunelerin SA ve KŞ oranları kontrol numunelerine göre azalmıştır. MF reçinesi ile emprenye edilmiş dijilam dekor kağıdı ile levhaların KŞ ve SA değerlerindeki iyileşmeler, ÜF reçinesi ile emprenye edilmiş dijilam dekor kağıdına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Büyüksarı (2012), laminasyon işleminden sonra KŞ ve SA değerlerinin azaldığını belirtmiştir. İstek vd. (2010) tarafından laminasyon işleminden sonra bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin önemli ölçüde iyileştiği rapor edilmiştir. Aksu (2009), vernik tipinin son kullanım uygulamalarında çok önemli bir rol oynadığını belirtmiştir.

Çizelge 3'te, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü gibi mekanik özelliklerde ölçülen verilere uygulanan ANOVA ve Duncan'ın ortalama ayırma analizinin sonuçlarını göstermektedir. Aynı tablodan mekanik özelliklere uygulanan tüm ANOVA analiz sonuçlarının ( $P<0,05$ ) düzeyinde anlamlı farklılıklar oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca ÜF, MF ve ÜF+MF karışımlarından üretilen test levhalarının mekanik özellikleri üzerinde ölçülen test sonuçları kontrol grubu numunelerine göre daha yüksek çıkmıştır. Yine MF uygulanarak üretilen dijilam dekor kağıtlarından üretilen test numunelerinin mekanik özelliklerinin daha da arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 2. Test levhalarının su alma ve kalınlığa şişme değerleri analiz sonuçları ( $p<0,05$ )<sup>(\*)</sup>

| Levha grubu     | Bekletme Süresi (h) | SA <sup>a</sup> |                |                         | KŞ <sup>b</sup> |                |                         |
|-----------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------------|----------------|-------------------------|
|                 |                     | Ortalama (%)    | Standart sapma | Varyasyon katsayısı (%) | Ortalama (%)    | Standart sapma | Varyasyon katsayısı (%) |
| Kontrol         | 2                   | 8,01C**         | 0,96           | 12,07                   | 1,52C           | 0,11           | 44,12                   |
| ÜF              | 2                   | 5,88B           | 0,45           | 7,12                    | 0,46B           | 0,15           | 32,13                   |
| MF              | 2                   | 4,53A           | 0,17           | 6,13                    | 0,36B           | 0,10           | 27,52                   |
| ÜF/MF           | 2                   | 4,85A           | 0,06           | 3,71                    | 0,16A           | 0,52           | 32,44                   |
| Kontrol         | 24                  | 26,94D          | 0,58           | 13,32                   | 7,13C           | 0,45           | 16,15                   |
| ÜF              | 24                  | 21,93C          | 1,66           | 21,11                   | 1,81B           | 0,18           | 17,23                   |
| MF              | 24                  | 16,84B          | 2,52           | 7,82                    | 1,22A           | 0,34           | 27,31                   |
| ÜF/MF           | 24                  | 13,79A          | 0,54           | 15,24                   | 1,06A           | 0,15           | 14,24                   |
| P <sub>SL</sub> |                     | $P<0,001$       | -              | -                       | $P<0,001$       | -              | -                       |

<sup>(\*)</sup>Numune sayısı 30, <sup>a</sup>Su alma, <sup>b</sup>Kalınlığa şişme, <sup>(\*\*)</sup>Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan testine göre önemli bir fark yoktur.

Çizelge 3. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait analiz sonuçları ( $p < 0,05$ )<sup>(\*)</sup>

| Mekanik özellikler                               | Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> ) | Levha grubu | Ortalama (N/mm <sup>2</sup> ) | Standart sapma | Varyasyon Katsayısı (%) | Önem düzeyi |
|--|-------------------------------|-------------|-------------------------------|----------------|-------------------------|-------------|
| Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )              | 730                           | Kontrol     | 27,31A**                      | 1,25           | 4,62                    | $P < 0,001$ |
|  | 730                           | ÜF          | 32,14AB                       | 0,58           | 18,11                   |             |
|  | 730                           | MF          | 40,39C                        | 4,91           | 12,52                   |             |
| Eğilmede Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> ) | 730                           | ÜF/MF       | 36,96B                        | 1,72           | 5,32                    | $P < 0,001$ |
|  | 730                           | Kontrol     | 3570,72A                      | 102,85         | 2,80                    |             |
|  | 730                           | ÜF          | 3957,73A                      | 144,28         | 8,61                    |             |
| Eğilmede Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> ) | 730                           | MF          | 6983,82C                      | 119,25         | 1,58                    | $P < 0,001$ |
|  | 730                           | ÜF/MF       | 5290,06                       | 166,12         | 2,24                    |             |

(\*)Numune sayısı 30, (\*\*)Aynı harflerin temsil ettiği ortalama değerler arasında, Duncan testine göre önemli bir fark yoktur.

Çizelge 3 incelendiğinde MF reçinesi emdirilmiş dijilam dekor kağıdına sahip kaplamalı MDF levhanın eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, ÜF ve ÜF+MF reçinelerine göre daha yüksek değerler vermiştir. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerleri sırasıyla ÜF'de 32,14 ve 3957,73 N/mm<sup>2</sup>, MF'de 40,39 ve 6983,82 N/mm<sup>2</sup> ÜF+MF'de 36,96 ve 5290,06 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde daha önce yapılan bir çalışmada, kaplamalı panelin fiziksel ve mekanik özelliklerinin farklı kaplamalar ile iyileştirilebileceğini görülmüştür (İstek, 2010). Bardak vd. (2011) kağıt gramajının artmasıyla eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerinin arttığını belirtmiştir. Diğer bir çalışmada, kaplanmış panel yüzeyleri, yonga levhanın formaldehit emisyonunun azalmasıyla birlikte gelişmiş fiziksel ve mekanik özellikler sergilediği belirtilmektedir (Nemli vd., 2003).

Dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış levhalara uygulanan sigara ateşine dayanım, lekelenmeye karşı dayanım, su buharına karşı dayanım ve çizilmeye karşı dayanım yüzey testlerinden elde edilen değerlendirme sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir.

Yüzey testlerinden elde edilen verilerin basit istatistiksel analiz sonuçları, MF ve ÜF+MF kullanılarak üretilen dijilam dekor kağıtlarla kaplanmış levhalarda lekelenmeye, su buharına ve çizilmeye karşı mukavemet değerlerinin ilgili standartlarda istenen limitleri sağladığını ortaya koymaktadır (Çizelge 4). Aynı çizelgede görüldüğü gibi su buharına karşı dayanım test sonuçları beşinci sınıfa uygun olarak bulunmuş olup, yüzeyde herhangi bir buhar tehlikesi oluşmamıştır. Bu durum levha yüzeyinde buharlanma özelliklerinin reçine cinsine niteliğine bağlı olmadığı göstermiştir. Genel olarak reçinenin özellikleri uygulanan reçinenin kalitesi ve presleme işleminin levha yüzeyinde önemli bir etkisi vardır (Nemli, 2008).

Çizelge 4. Dijilam dekor kağıdı ile kaplanmış MDF levhaların yüzey özellikleri

| Yüzey özellikleri            | Pres sacı | ÜF       | MF       | ÜF/MF    |
|------------------------------|-----------|----------|----------|----------|
| Sigara ateşine karşı dayanım | Düz       | 1.Derece | 3.Derece | 2.Derece |
| Lekelenmeye karşı dayanım    | Düz       | 4.Derece | 5.Derece | 5.Derece |
| Su buharına karşı dayanım    | Düz       | 5.Derece | 5.Derece | 5.Derece |
| Çizilmeye karşı dayanım      | Düz       | 3.Derece | 5.Derece | 4.Derece |

ÜF reçinesi emdirilmiş kağıt ile lamine edilen MDF levhaların çizilme değerleri üçüncü sınıf olarak değerlendirilirken, MF reçinesi emdirilmiş kağıt ile lamine edilen MDF levhaların çizilme değerleri beşinci sınıf olarak derecelendirilmiştir. MF reçinesi ile kaplanmış test numuneleri, çizilme özelliklerine karşı ÜF reçinesinininkinden daha yüksek direnç göstermiştir. Yapılan bir çalışmada MF reçinesinin bağ yapısı, katmanların sıcak preslenmesinden dolayı hidrolize duyarlı olmayan stabil bir bağ sağladığı ifade edilmiştir (Pizzi, 1994).

MF ve MF+ÜF kaplamalı numunelerin lekelenmeye karşı direncinin ÜF numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Reçine türü, sigara yanığına karşı dayanıklılığı etkilerken ÜF reçineli dijilam dekor kağıtlı örnekleri daha çok etkilemiştir. Bir çalışmada, ÜF ve MF karışımındaki ÜF reçine miktarının artırılması, özellikle %50 seviyesinin üzerinde sigara yanığına karşı direnci olumsuz etkilemiştir. Ancak karışımında %100 oranında ÜF kullanımı, sigara ateşine karşı testi sonrasında ciddi oranda renk bozulmasına, kabarmaya ve çatlak oluşumuna neden olmuştur (Nemli, 2008).

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada, üre formaldehit ve melamin formaldehit reçinelerinden belirli oranlarda (%100 ÜF, %100 MF ve %50 ÜF+%50 MF) kullanılarak üretilen dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış MDF levhaların önemli mekanik, fiziksel ve yüzey özellikleri araştırılmıştır. Bu doğrultuda, maliyeti daha düşük ve ilgili standartlarda istenen direnç özelliklerine sahip dijilam dekor kağıtları ile kaplanmış MDF levhaların üretimi amaçlanmıştır.

Araştırma kapsamında yapılan testler sonucunda, suda bekletme sonucu ölçülen su alma ve kalınlığa şişme değerleri ortalamalarının 2 sa. için sırasıyla ÜF'de %5,88 ve %0,46, MF'de %4,53 ve %0,36 ÜF+MF'de %4,85 ve %0,16 olarak elde edilirken, 24 sa. için ÜF'de %21,93 ve %1,81, MF'de %16,84 ve %1,22 ÜF+MF'de %13,79 ve %1,06 arasında seyrettiği belirlenmiştir. Mekanik özelliklerde ise eğilme direncinde ÜF'de 32,14 N/mm<sup>2</sup>, MF'de 40,39 N/mm<sup>2</sup> ÜF+MF'de 36,96 N/mm<sup>2</sup>, eğilme elastikiyet modülünde ÜF'de 3957,73 N/mm<sup>2</sup> MF'de 6983,82 N/mm<sup>2</sup> ÜF+MF'de 5290,06 N/mm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Yapılan testler ÜF, MF ve ÜF+MF reçineleri ile emprenye edilmiş dijilam dekor kağıdı örnekleri de kaplanmış levhaların özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. MF reçinesi ile kaplanmış MDF levha, ÜF ve ÜF+MF reçineleri ile kaplanmış levhalara nazaran daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca MF reçinesi ile emprenye edilmiş dijilam dekor kağıdı ile kaplanmış MDF levhalar, ÜF ve ÜF+MF reçineleri ile emprenye edilmiş dijilam dekor

kağıdına göre daha iyi yüzey özellikleri vermiştir. MF reçinesi emdirilmiş kağıtla lamine edilen MDF levhaların sigara ateşine karşı dayanım değerleri üçüncü sınıf olarak değerlendirilirken, lekelenmeye, su buharına ve çizilmeye karşı dayanım değerleri beşinci sınıf olarak derecelendirilmiştir. Sonuç olarak dijilam dekor kağıdının, su buharına, çizilmeye, leke tutmaya ve sigara ateşine karşı mukavemet gibi yüzey özellikleri %100 MF reçinesinden üretilmiş dijilam dekor kağıtlarında %40 seviyesinde iyileşme olduğu görülmüştür.

Elde edilen deneysel sonuçlar ışığında dekoratif yüzeylerin üretiminde MF aslında ÜF ile ikame edilebilir. Böylece üretim maliyeti önemli ölçüde azaltılabilir. Ayrıca, ÜF ve ÜF+MF reçineleri MDF levhaların emprenye dekoratif kağıtlarla yüzey kaplamasında MF'ye umut verici bir alternatif sunabilir.

#### Kaynaklar

- Aksu, S., 2009. Dekor Kağıdı ve reçine tipinin yonga levhaların fiziksel, mekanik ve yüzey kalitesine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, BÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.
- Ahonen, H., 1977. Properties and uses of paper-based decorative plastic laminate board. *The Encyclopedia of Wood*, New York, USA.
- Ashori, A., Nourbakhsh, A., Karegarfard, A., 2009. Properties of medium density fiberboard based on bagasse fibers. *J Compos Mater*, 43(18):1927-1934.
- Bardak, S., Sarı, B., Nemli, G., Kırıcı, H., Baharoğlu, M., 2011. The effect of decor paper properties and adhesive type on some properties of particleboard, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(6): 412-415.
- Bektas, I., Güler, C., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F., Nacar, M., 2005. The manufacture of Particleboard Using Sunflower Stalk and Poplar Wood. *Journal of Composite Materials*, 39(5): 467-473. DOI: 10.1177/0021998305047098.
- Büyüksarı, Ü., 2012. Physical and mechanical properties of particleboard laminated with thermally compressed veneer. *Bio Resources*, 7(1): 1084-1091.
- Enzensberger, W., 1961. On the surface finishing of particleboard with resin impregnated paper layers. *HolzRohWerkst*, 19:394-8.
- Güler, C., Sancar, S., 2017. The principle of a particle board plant and the effect of pressing techniques on board quality. *Forestry Journal*, 12: 1-10.
- Hızıroğlu, S., 1999. Surface roughness analysis of wood composites: Astylus method. *Forest Production Journal*, 46 (7/8): 67-72.
- İstek, A., Aydemir, D., Aksu, S., 2010. The effect of décor paper and resin type on the physical, mechanical, and surface quality properties of particleboards coated with impregnated décor papers. *Bio Resources*, 5(2): 1074-1083.
- Nemli, G., Gezer, E. D., Hızıroğlu, S., 2003. The changes in important quality properties of continuous pressed laminates (CPL) with some changes in thickness and pres parameters. *Building and Environment*, 38 (7): 913-917.
- Nemli, G., Örs, Y., Kalaycıoğlu, H., 2004. The choosing of suitable decorative surface coating material types for interior end use application of particleboard. *Construction and Building Materials*, 19: 307-312.
- Nemli, G., Colakoglu, G., 2005. The influence of lamination technique on the properties of particleboard. *Building and Environment*, 40(1):83-87.
- Nemli, G., Kalaycıoğlu, H., 2007. Effects of surface coating materials on the thermal conductivity and combustion properties of particleboard. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26:155-60.
- Nemli, G., 2008. Factors affecting some quality properties of the decorative surface overlays. *Journal of Materials Processing Technology*, 195:218-223.
- Nemli, G., Hızıroğlu, S., 2009. Effect of press parameters on scratch and abrasion resistance of overlaid particleboard panels. *Journal of Composite Materials*, 43(13): 1423-1420.
- Özdemir, T., Hızıroğlu, S., Malkocoglu, A., 2009. Influence of relative humidity on surface quality and adhesion strength of coated medium density fiberboard (MDF) panels. *Materials and Design*, 30 (10): 2543-2546.
- Pizzi, A., 1994. *Advanced wood adhesives technology*. Marcel Dekker, New York, USA.
- Sellers, T., 1996. Technical and market opportunities for glued wood products. *Adhesive Age*, 39 (6): 6-9.
- TS EN 317, 2005. Yonga levhalar ve Lif levhalar – suya daldırıldıktan sonra kalınlığında şişmenin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 310, 1999. Ahşap esaslı paneller-eğilmede elastikiyet modülünün ve eğilme mukavemetinin belirlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara-Türkiye.
- TS 14323, 2006. Ahşap esaslı paneller – İç mekân kullanımları için melamin kaplı levhalar-Test yöntemleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara-Türkiye.
- Ye, X.P., Julson, J., Kuo, M., Womac, A., Myers, D., 2007. Properties of medium density fiberboard made from renewable biomass. *Bioresources Technology* 98 (5):1077-1084.
- Wang, S., 2013. The present situation of wood industry: trend, thinking and judgment. *ChinaWood-based Panels*, 1:1-5.

## Fenol formaldehit reçinesinin farklı oranlarda kullanımının yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi

Mert Tuğberk Kavut<sup>a</sup>, Mahmut Ali Ermeýdan<sup>a,b,\*</sup>, Eylem Dizman Tomak<sup>a,b</sup>

**Özet:** Bu çalışmada, fenol formaldehit tutkal oranı farklılığının tek katlı yonga levhanın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Yonga levha üretiminde, odun hammaddesi olarak %40 ince- %60 kaba yonga, tutkal olarak da %45 katı madde oranına sahip fenol-formaldehit reçinesi kullanılmıştır. Yonga levha deney örnekleri hazırlanma aşamasında, üretim parametreleri olan pres basıncı, sıcaklık, zaman, yonga miktarı sabit tutulup, tutkal yüzdesi kuru yonga ağırlığına göre %8, 10 ve 12 olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilen yonga levhaların yoğunluk, su alma ve kalınlığına şişme gibi bazı fiziksel özellikleri ile, eğilme, elastikiyet modülü ve yüzeye dik çekme direnci (iç yapışma) gibi bazı mekanik özellikleri ilgili standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Fenol formaldehit ile üretilen yonga levhalar ayrıca, %10 üre formaldehit tutkalı kullanılarak hazırlanan levha ile aynı özellikler bakımından kıyaslanmış ve istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Eğilme direnci, iç yapışma direnci ve kalınlık artışında en iyi sonuçlar fenol formaldehit tutkalının %10 ve 12 oranında kullanılmasında elde edilmiş, %8'lik fenol formaldehit ve %10'lük üre formaldehit tutkalı ile üretilen gruplar arasında istatistiksel açıdan bir farklılık bulunmamış ve bu gruplar diğer gruplardan daha düşük bir performans sergilemiştir. %10-12 fenol formaldehit tutkalıyla üretilen levhalar, %10 üre formaldehit tutkallarıyla üretilen levhalara göre 72 saatte %45 kadar daha az su almış ve %35 oranında daha az şişmiştir. Çalışmada ayrıca, farklı tutkal oranlarına sahip levhaların yüzey kimyası ATR-FTIR ile analiz edilerek karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Fenol formaldehit, Mekanik özellikler, Yonga levha, Su alma, Şişme

## The effect of the use of phenol formaldehyde resin in different rates on some physical and mechanical properties of particle boards

**Abstract:** In this study, the effect of phenol formaldehyde resin ratio on some physical and mechanical properties of single-layer particle board was investigated. In particle board production, 40% fine - 60% coarse chipboard was used as wood raw material, and phenol-formaldehyde resin with 45% solids content was used as adhesive. During the preparation of particleboard test samples, the production parameters such as press pressure, temperature, time and chip amount were kept constant and the adhesive percentage was adjusted to 8, 10 and 12% according to the dry chip weight. Some physical properties of the produced particleboard, such as density, water absorption and swelling in thickness, and some mechanical properties, such as bending, modulus of bending and internal bonding strength (internal adhesion), were determined in accordance with TSE standards. Particleboard produced with phenol formaldehyde were also compared and statistically evaluated in terms of the same properties with the board prepared using 10% urea formaldehyde resin. The best results in bending strength, internal adhesion resistance and thickness increase were obtained when 10 and 12% phenol formaldehyde was used. There was no statistical difference between the groups produced with 8% phenol formaldehyde and 10% urea formaldehyde resins and these groups showed a lower performance than other groups. Boards produced with 10-12% phenol formaldehyde resin took in 45% less water and swelled 35% less in 72 hours than boards produced with 10% urea formaldehyde resin. In the study, the surface chemistry of boards with different glue ratios was analyzed and compared with ATR-FTIR.

**Keywords:** Phenol formaldehyde, Mechanical properties, Particle board, Water absorption, Swelling

### 1. Giriş

İnsanlık tarihinde bir mühendislik malzemesi olarak yoğun şekilde kullanılan odun ve odun esaslı malzemeler yenilenebilir ve sürdürülebilir bir kaynaktan elde edilmesi sebebiyle günümüzde de gelişmiş toplumlar için vazgeçilmez bir malzeme olarak kullanılmaya devam etmektedir (Milner ve Woodard, 2016). Ancak odun ve odun esaslı malzemelerin kullanım esnasında ahşabın özellikle hidrofilik ve higroskopik kimyasal yapısı sebebiyle su alarak şişmesi yani boyutsal kararsızlığı ve biyolojik degradasyona karşı duyarlı

olması gibi sorunları olduğu bilinmektedir (Fengel ve Wegener, 1983). Bu problemlerden dolayı geliştirilmiş özelliklere sahip odun ve odun esaslı malzemelerin ortaya çıkışı kaçınılmaz olmuştur. Ahşap sanayi, odun esaslı malzemeyi en verimli ve ekonomik şekilde kullanmayı istemektedir (Kelleci, 2013). Odun esaslı levhalar, masif ahşap panellere göre ucuz bir alternatif olarak yıllardır kullanılmaktadır. Bu kapsamda, ahşap bazlı malzemelere duyulan günlük ihtiyaçlar, mobilya vb. birçok sektörün ihtiyaçları ve gereksinimleri doğrultusunda (yapısal ve mühendislik malzemeleri), levha sektörünün ürettiği

✉ <sup>a</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

<sup>b</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): mahmut.ermeydan@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 30.03.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 04.07.2024



**Citation** (Atıf): Kavut, M.T., Ermeýdan, M.A., Dizman Tomak, E., 2024. Fenol formaldehit reçinesinin farklı oranlarda kullanımının yonga levhaların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 325-332.

DOI: [10.18182/tjf.1461901](https://doi.org/10.18182/tjf.1461901)

genellikle orta yoğunluklu lif levha (MDF) yonga levha ürünleriyle karşılanmaktadır (Şahin vd., 2022).

Yonga levha, sentetik bir reçine veya başka bir uygun bağlayıcı ile sıcaklık ve basınç altında bir araya getirilen genellikle odun esaslı selülozik malzemelerden üretilen bir levha olarak tanımlanmaktadır (Kevin vd., 2018). Yonga levhanın pek çok farklı kullanım yerleri bulunmaktadır. Her tür ev mobilyasında yapısal unsur olarak, özelde ise gardıroplar, depolama birimleri, ayakkabı rafları, bilgisayar masaları, kitap rafları, televizyon üniteleri vb. yapımında kullanılırlar. Bunlar dışında da diğer ticari kollara yardımcı malzeme olarak kullanılır. Örneğin televizyon kasalarında, hoparlör kutularında, dikiş makinelerinin üst kısımlarında, ekran panolarında, ticari araç parçalarında ve mobilyalı aksamında kullanılır (Akbulut, 2020). Ayrıca nem oranı yüksek veya suya maruz kalabilecek banyo ve mutfak gibi yerlerde de kullanımları mevcuttur. Nemli ve suya maruz kalan bu bölgelerde özel yonga levhalar üretilip, kullanılmaktadır (Yang vd., 2007). Üretilen bu levhalar, neme ve suya karşı oldukça iyi direnç gösteren levhalardır. Ülkemizde ticari üretimde genellikle MUF (Melamin Üre Formaldehit) veya fenolik reçineler kullanılmaktadır. İçerisindeki suya ve neme karşı dayanıklı olan reçineler sayesinde, mutfak ve banyo gibi yüksek rutubetli ve sulu ortamlarda kullanılmaya elverişlidir (Kaya, 2017; Kara, 2018) (Şekil 1).

Yonga levha iç mekanlarda kullanıldığı gibi dış mekanlarda da kullanıma uygundur. Fakat hangi ortamda kullanılacak ise levhadaki tutkal değişmektedir. İç ortamda kullanılacak olan yonga levhada genellikle üre formaldehit (UF) tutkalı tercih edilir. UF ucuz, prosesi ve presleme şartları kolay olduğu için tercih edilir. Ancak suya karşı göstermiş olduğu zayıflıktan dolayı rutubetli ve nemli ortam koşullarında kullanıma uygun bir tutkal değildir (Bozkurt ve Göker, 1985).



Şekil 1. Neme ve suya dayanıklı yonga levha (ORMA, 2017)

Fenol formaldehit (FF) tutkalı, malzemenin içerisine derinlemesine nüfuz edip, odunun çeper kısmını şişirmesi, sonrasında tutkalın sertleşmesi yonga levhaya oldukça iyi bir boyutsal kararlılık sağlamaktadır (Bozkurt ve Göker, 1985). Dolayısıyla, rutubetli ve sulu ortam koşullarında diğer tutkallara kıyasla, rutubete ve suya karşı daha iyi özellik gösteren (Şenel, 1996) ve termoset bir tutkal olan FF tutkalı tercih edilir. Bunun yanında yonga levhada su iticilik ve şişme özelliklerini iyileştirmek amacıyla birçok akademik çalışma da yapılmaktadır. Örneğin Lee ve Thole (2018) inorganik bir tutkal olarak silanlanmış cam suyu kullanarak yaptıkları çalışmada, 24 saat su alım oranının kontrole kıyasla %60'tan fazla iyileştirdiğini raporlamıştır.

Her ne kadar fenol formaldehit tutkalının yonga levhanın ıslak özelliklerine etkisi bilinse de tutkal miktarının yonga levhanın özelliklerine etkisini gösteren az sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışma kapsamında fenol formaldehit kullanılarak farklı tutkal oranlarında yonga levha üretilmiştir. Üretilen levhaların tutkal oranları, kuru yonga ağırlığına oranla %8, 10 ve 12' dir. Bu tutkal oranlarına literatür bilgisi üzerinden karar verilmiştir. Levhaların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak, aynı zamanda bir kontrol örneği olarak %10 oranında üre formaldehit tutkalıyla üretilen yonga levha ile kıyaslanmıştır.

## 2. Materyal ve yöntem

Araştırmada kullanılan yonga hammaddesi ve üre formaldehit tutkalı, Kastamonu Entegre firmasından, fenol formaldehit tutkalı ise Vezirköprü Orman Ürünleri firmasından temin edilmiştir. Kullanılan fenol formaldehit tutkalının özellikleri, katı madde: %45, mol oranı: 1.93 (Novalak tipi reçine), viskozite (4mm fordcup): 60-65 saniye ve yoğunluk: 1.185 g/cm<sup>3</sup>; üre formaldehit tutkalının özellikleri, katı madde: %46, pH: 5.6, jelleşme zamanı: 95 sn, yoğunluk: 1,2 g/cm<sup>3</sup>, viskozite: 367.1 cP. Odun yongaları çam, meşe ve kayın odunlarının yongalarından elde edilen ticari bir karışım olarak temin edilmiş ve kullanılmıştır.

### 2.1. Yonga levha üretim parametreleri

Yonga levha üretiminde uygulanan proses verileri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Üretim parametreleri olarak presleme zamanı, presleme sıcaklığı, presleme basıncı ve levha boyutları verilmiştir (Chow, 1979; Dizman, 2005). Tüm levhalarda presleme zamanı, sıcaklığı ve basıncı aynı değerde olup, levhaların boyutları da aynı şekildedir. Üretilen levhalarda 50x50 cm levha taslağı ve 8 mm kalınlık çıtası kullanılmıştır.

Çizelge 1. Yonga levhaların üretim parametreleri

| Test grupları | Presleme zamanı (sn) | Presleme sıcaklığı (°C) | Presleme basıncı (kg/cm <sup>2</sup> ) | Levha boyutları (cm <sup>3</sup> ) |
|---------------|----------------------|-------------------------|--|------------------------------------|
| Üre%10        | 420*                 | 150                     | 24- 26                                 | 50x50x8                            |
| Fenol%8       |                      |                         |  |                                    |
| Fenol%10      |                      |                         |  |                                    |
| Fenol%12      |                      |                         |  |                                    |

Üre%10: %10'luk ÜF tutkal oranı, Fenol%8: %8'lik FF tutkal oranı, Fenol%10: %10'luk FF tutkal oranı, Fenol%12: %12'lik FF tutkal oranı

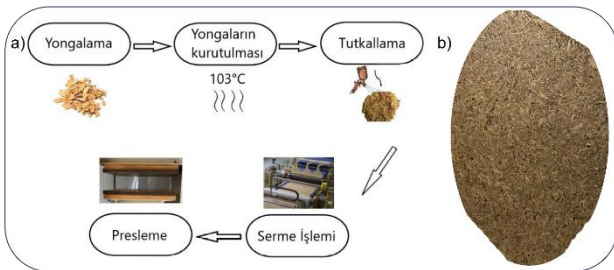


## 2.2. Yongaların hazırlanması ve levha üretimi

Yonga levha üretiminin genel hatları, Şekil 2a' de gösterildiği gibidir. Başlangıç olarak yonga kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yongalar istenen rutubete (%1-3) getirilmesi için  $103 \pm 2$  °C'de kurutulup ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından tutkalları serildikten sonra, sıcaklık ve basınç altında preslenip nihai ürün eldesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2b). Yongaların tutkallanmasında Hunag CM210 marka çimento karıştırma makinası ve basınçlı boya tabancası kullanılmıştır. Tutkal oranları literatür doğrultusunda kuru lif ağırlığına oranla FF için %8-10-12, UF için %10 olarak uygulanmıştır (Çizelge 1) (Prasetiyo vd., 2019). Levhalarda kullanılacak yonga ve tutkal miktarların hesapları  $0.65 \text{ g/cm}^3$  levha üretimi hedefi doğrultusunda yapılmıştır.

Her grup için birer levha üretilmiştir. Levha taslağının hazırlanmasında 50x50 cm boyutlarında levha taslağı kullanılmıştır (Şekil 3). Üretilecek olan levha tek tabakalı olarak hazırlanmıştır. Çerçeve pres sacının üzerine yerleştirilip, el yardımı ile önceden tutkallanmış yongalar homojen bir şekilde serilmiştir. Bu serme işlemi sonrasında şekillendirme çerçevesi ölçülerinde bir tabla yardımıyla yongalar bastırılmak suretiyle sıkıştırılmıştır. Şekillendirme taslağı levhanın kenarlarına zarar vermeden çıkarılıp, preslenmeye hazır hale getirmek için levha taslağı üzerine üst pres sacı yerleştirilmiştir.

Levha taslağı ile ön şekillendirme yapılan yongaların preslenmesinde laboratuvar test presi olan Cemil Usta SSP-180T makinası kullanılmıştır. Her gruptan levhalar preslendikten sonra tutkalın sertleşmeye devam etmesini sağlamak için pres sacları arasında soğuyuncaya kadar bekletilmiştir. Bu şekilde soğuyan levhalar sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %65 olan klima odasında 3 hafta süre ile bekletilmiş ve klimatize edilen levhalardan denemeler için gerekli örnekler kesilmiştir. Hazırlanan örnekler deneme anına kadar bekletilmek üzere tekrar klima odasına konulmuştur.



Şekil 2. a) Yonga levha üretim aşamaları b) Yonga levha yüzey gösterimi



Şekil 3. Levha taslağı

## 2.3. Yonga levhaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

### 2.3.1. Yoğunluk

TS EN 323'e (1999) göre uygulanacak olan yoğunluk ölçümü, çalışmada yaygın olarak kullanılacak olan hava kuru yoğunluk değerleri esas alınmıştır. Sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar bekletilmiş olup, 50x50mm boyutundaki örneklerin ağırlıkları  $\pm 0,01$ gr duyarlıklı hassas terazi ile, genişlikleri kumpas, kalınlıkları ise komparatör saati ile  $\pm 0,01$  duyarlılıkla ölçülmüştür. Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{m_r}{V} (\text{g/cm}^3)$$

Eşitlik 1.  $m_r$  = Hava kuru ağırlık (g), V = Örnek Hacmi ( $\text{cm}^3$ )

### 2.3.2. Rutubet

Rutubet miktarını belirlemek TS EN 322 (1999)' de belirtilen örneklerin ağırlıkları  $\pm 0.01$ gr duyarlıklı hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra etüvde  $103 \pm 2$  °C de değişmez ağırlığa ulaşuncaya kadar bekletilerek tam kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bunlara göre örneklerin rutubeti miktarı (r) aşağıdaki Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır;

$$r = \left( \frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

Eşitlik 2.  $m$  = Klimatize edilmiş örnek ağırlığı (g),  $m_0$  = Tam kuru haldeki örnek ağırlığıdır (g).

### 2.3.3. Kalınlığına şişme ve su alma oranları

Kalınlığına şişme TS EN 317 (1999), su alma oranları da ASTM D1037 standartları esas alınarak yapılmıştır. 50x50 mm boyutundaki örneklerin kalınlıkları tam orta noktasından  $\pm 0,01$ mm duyarlıklı komparatör saati ile ölçülmüş, ağırlıkları ise  $\pm 0,01$ gr duyarlıklı terazide tartılmıştır. Örnekler 2, 24, 48 ve 72 saatlik (s) periyotlarda  $20 \pm 2$  °C' lik suda bekletilmiştir. Su içerisinde bekletilen süreler sonunda sudan çıkarılan örneklerin fazla olan suları bir bezle silinip ve ağırlıkları hassas terazi ile tartıldıktan sonra aldıkları su miktarları (SAO, %) belirlenmiş, kalınlıkları ise ilk ölçülen noktadan tekrar ölçülerek kalınlık artışları (KA, %) belirlenmiştir. Su alma oranı ve kalınlık artımı değerleri aşağıda belirtilen Eşitlik 3 ve Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{SAO}\% = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100$$

Eşitlik 3.  $m_1$  = Örneğin ilk ağırlığı (g),  $m$  = Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığıdır (g)

$$\text{KA}\% = \frac{e_y - e_k}{e_k} \times 100$$

Eşitlik 4.  $e_y$  = Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm),  $e_k$  = Klimatize edilmiş durumdaki örnek kalınlığı (mm)

#### 2.4. Yonga levhaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi

##### 2.4.1. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü TS EN 310 (1993)'da belirtilen şekilde, Shimadzu AG-IC cihazıyla belirlenmiştir. Sıcaklığı 20 °C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş olan örneklerin genişliği kumpas ile yükleme hattında bir, kalınlıklar ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde 2 noktanın ortalaması alınarak 0,01 mm duyarlılıklı komparatör saati ile ölçülmüştür. Deneme makinesinde yükleme mekanizması, kırılmanın yükleme anından itibaren 1-2 dakika içerisinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde 6 mm/dk hızla çalışılmıştır.

##### 2.4.2. Levha yüzeyine dik çekme direnci (iç yapışma)

Yüzeye dik çekme direnci, sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %65 olan iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş, boyutları 0.01mm duyarlılıklı kumpas ile ölçülmüş 50x50 mm boyutlarındaki örnekler, 2.5 mm/dk yükleme hızında Shimadzu AG-IC cihazıyla, TS EN 319 (1999) standardına uygun bir biçimde gerçekleştirilmiştir.

#### 2.5. Yonga levhaların kimyasal karakterizasyonu

Levhaların kimyasal karakterizasyonu ATR-FTIR analiziyle belirlenmiştir. Levha yüzeyindeki kimyasal değişimler ATR detektörüne sahip Bruker marka FT-IR cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler 4000-400 cm<sup>-1</sup> dalga boyları arasında 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte yapılmıştır.

#### 2.6. İstatistik analiz

Levhaların 2, 24, 48 ve 72 saat boyunca su alma oranı ve kalınlık artışı değerleri çoğul varyans analizinde tekrarlı ölçümler analizi ile, eğilme, elastikiyet modülü ve iç yapışma direnci ise basit varyans analizi ile istatistiksel açıdan analiz edilmiştir. Gruplar arasında anlamlı farklılıklar ( $P<0.05$ ) Duncan homojenlik grupları ile irdelenmiştir.

### 3. Bulgular ve tartışma

Çizelge 2 ve Şekil 4'te üretilen yonga levhaların bazı fiziksel özelliklerine ilişkin veriler gösterilmiştir.

Çizelge 2'de gösterilen veriler çerçevesinde, yoğunluk değerlerinin kısmen benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. Farklı oranlardaki tutkal kullanımının, yoğunluk üzerine etkisi tespit edilmiş, fenol formaldehit kullanılan levhaların yoğunluğunun, üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalardan daha yoğun olduğu, aynı şekilde fenol formaldehit oranındaki artışında yoğunluğun artmasına sebep olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin tutkal oranı arttıkça sıkışan liflerin birbirine daha iyi bir şekilde bağlanması olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan genel olarak tutkal miktarının artması ile levhanın tüm fiziksel ve mekanik özellikleri iyileşme göstermektedir (Akbulut ve Ayrılmış, 2024). Ancak bu çalışmada %10 fenol formaldehit kullanımındaki levha yoğunluğu ile %12 fenol formaldehit kullanılan levha yoğunluğu arasında önemli bir fark görülmemektedir. Bu durum yonga levha üretiminde kullanılan lignoselülozik hammadde cinsi ve özelliklerine,

sıkıştırılma oranına, yonga boyutları ve geometrisine, yapıştırıcı cinsine ve miktarına, pres şartları ve taslak rutubetine de bağlı olabilir.

Çizelge 2. Yonga levhaların yoğunluk ve rutubet değerleri

| Levha Adları | Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> ) | Rutubet (%) |
|--------------|-------------------------------|-------------|
| Üre10        | 0.63                          | 7.46        |
| Fenol8       | 0.71                          | 7.88        |
| Fenol10      | 0.77                          | 8.23        |
| Fenol12      | 0.76                          | 8.26        |

Tüm bu faktörler levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen önemli faktörlerdir (İstek vd., 2017). Yoğunluğu düşük olan ağaç türü odunları daha hafif olduklarından kolay sıkıştırılabilmekte, tutkal ile iyi bir bağ elde etmek için presleme sırasında yongalar arasında yeterli temas alanı sağlanabilmektedir (Nemli vd., 2006; Akbulut ve Ayrılmış, 2024). Yonga boyutları küçüldükçe yonga levha yüzey özellikleri iyileşmekte, boyutsal değişiklik artmakta ve direnç özelliklerinin azaldığını belirtmektedir (İstek vd., 2017). Levha yoğunluğunun artmasıyla direnç özelliklerinin arttığı, ancak su alma ve kalınlığına şişme özelliklerinin sadece yoğunluğa bağlı olmadığı da belirtilmiştir (Gündüz ve Masraf, 2005; İstek ve Sıradağ, 2013). Yonga levha üretiminde kullanılan yongalar küçüldükçe yüzey alanına bağlı olarak daha fazla yapışma ve daha yoğun yüzeyler oluşmaktadır. Eğilme ve elastikiyet dirençlerinin de yüzey yoğunluğu ile doğru orantılı değiştiği vurgulanmaktadır (Wong vd., 1999). Fenol formaldehit tutkalının yongalara üre formaldehit tutkalından daha fazla nüfus ettiği bilgisinden hareketle (Akbulut ve Ayrılmış, 2024), tutkal kullanımı arttıkça üretimde yongalardaki topaklaşma daha fazla gözlenmesi paralellik göstermektedir. Bu durumda homojen tutkallama olmadığından yoğunluk %10 ve %12'de benzer elde edilmiş olabileceği düşünülmüştür.

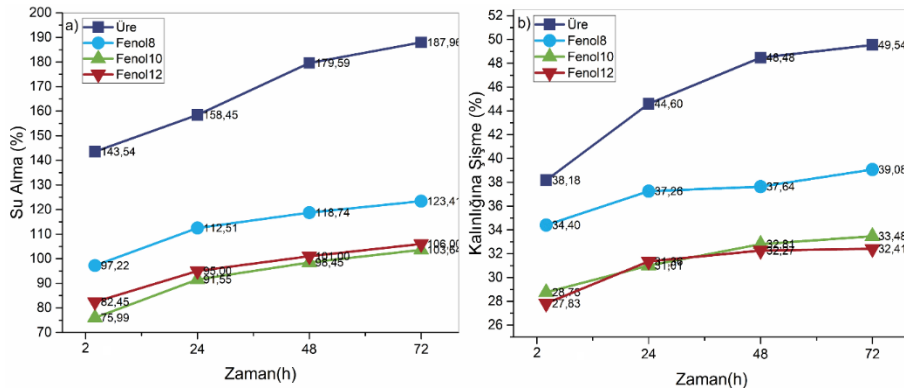
Şekil 4'te sunulan su alma ve kalınlığına şişme verileri incelendiğinde en yüksek sonuçların %10' luk üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhada olduğu tespit edilmiştir. Üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhanın 2 ile 24 saat aralığındaki kalınlık artışı (%), fenol formaldehit tutkalıyla üretilen levhalara kıyasla, daha fazla gözlemlenmiştir. 24 saat sonrasında ise örneklerin su alma ve kalınlığına şişmesi neredeyse stabil hale gelmeye başlamıştır. %10 ve %12'lik fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhaların test sonuçları birbirine oldukça yakındır. Genel olarak fenol formaldehit tutkal içeriğinin artmasına bağlı olarak levha gruplarındaki su alma ve kalınlığına şişme oranlarında azalma tespit edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için yapılan tekrarlı ölçümler analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ). Grupların su alma değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 > Fenol%8 > Fenol%10 = Fenol%12. Kalınlık artış değerlerindeki sıralama ise: Üre%10 > Fenol%8 > Fenol%10 = Fenol%12. Sonuçlar yoğunluk değerleri ile aynı paralellikte bulunmuştur.

Şekil 5'te %8, 10 ve 12 oranında fenol formaldehit tutkalı ve %10 üre formaldehit tutkalıyla üretilmiş levhaların FTIR spektrası gösterilmiştir ve odun yonga spektrumuyla kıyaslanmıştır. ÜF tutkalının FTIR spektrası incelendiğinde 3300 cm<sup>-1</sup> bölgesindeki pikin -NH titreşimine ait olduğu gruplarına ait pikler görülmekte, yine C-H/C-H<sub>2</sub> titreşimlerine ait pikler de 2920-2890 cm<sup>-1</sup> bölgesinde açıkça fark edilmektedir. Odun lifleriyle yapılan levhalarda da üre

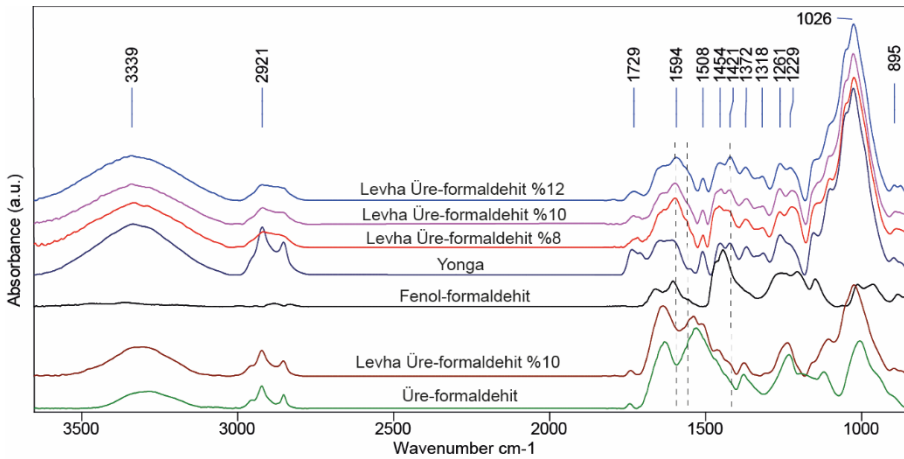
formaldehitin karbonil gruplarına ait kuvvetli Amit I bandı  $1635\text{ cm}^{-1}$  ve C-N ve N-H deformasyonu kaynaklı Amit II bandı da  $1530\text{ cm}^{-1}$ 'de açıkça görülmektedir (Aizat vd., 2019). Fenol formaldehit tutkalı incelendiğinde ise  $1660$ - $1606$  ve  $1445\text{ cm}^{-1}$ 'deki absorpsiyon bantları aromatik halkanın ve fenil-propan iskelet titreşimlerine ait olduğu bilinmektedir (Zhang vd., 2013).  $1254$ - $1209\text{ cm}^{-1}$  bandları da fenolhidroksi gruplarındaki C-O gerilme titreşiminin varlığına atfedilirken,  $1012$ - $966\text{ cm}^{-1}$  bandları da alifatik C-O (Ar), alifatik C-OH ve metilol C-OH gruplarındaki C-O gerilme titreşimi temsil edilir (Li vd., 2017). Fenol formaldehit ile oluşturulmuş levhaların FTIR spektrasi incelendiğinde ise fenollü tutkalın birçok pikinin odun pikleri altında kaldığı fark edilmektedir. Odun içindeki ligninin kimyasal yapısının da fenolik olması bunun sebebidir. Diğer yandan  $1595\text{ cm}^{-1}$  ve  $1422\text{ cm}^{-1}$  pik yoğunluklarının tutkal miktarı arttıkça arttığı görülmektedir. Bu piklerin zaten fenole ait pikler olduğu bilinmektedir.

Şekil 6' da %8, 10 ve 12'lik fenol formaldehit ve %10'luk üre formaldehit ile üretilen levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü ve iç yapışma direnci test sonuçları gösterilmektedir. Şekil 6a' da gösterilen eğilme direnci sonuçları incelendiğinde, FF kullanılan levhalarda fenol formaldehit tutkal oranı arttıkça eğilme direnci de artış göstermiştir. %8 ve 10'luk olan fenol örneklerinde %100 gibi yüksek bir fark oluşurken, %10 ve 12'lik arasında %30'luk bir fark vardır. Diğer taraftan üre formaldehit tutkalının

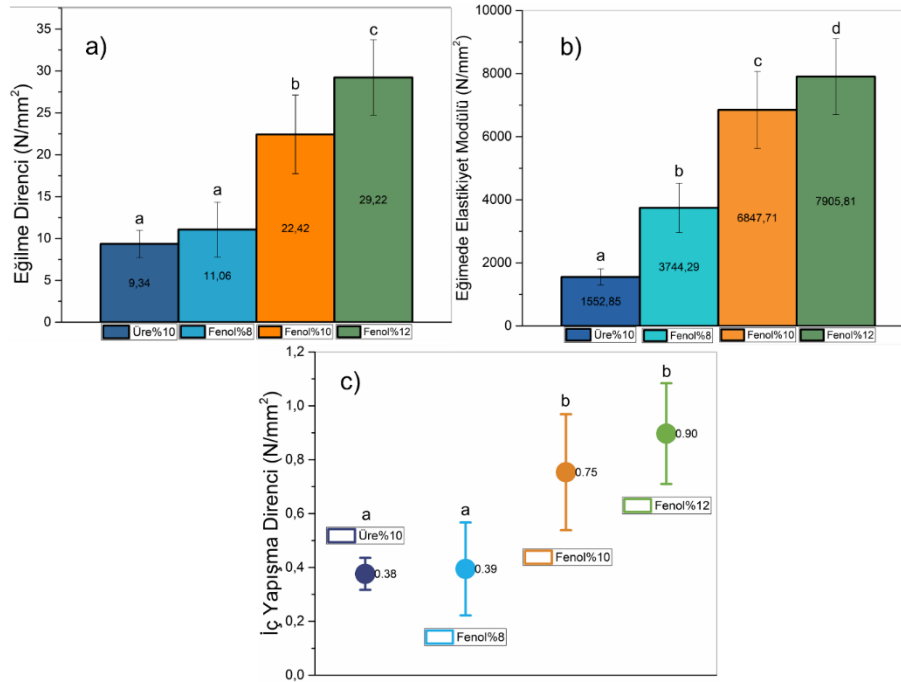
eğilme direnci verileri incelendiğinde, %8'lik fenol formaldehit tutkalı kullanılan yonga levhanın test sonuçları arasında benzerlik söz konusudur. Üre formaldehit tutkalı ile üretilen yonga levhaların eğilme direnci için literatürde, 20mm homojen tek katman olarak üretilen yonga levhanın eğilme direnci sonuçlarına kıyasla benzer bir sonuç bulunmuştur (Akbulut, 1995). Yonga levha üretiminde kullanılan tutkal miktarının artması sonucunda levhadaki direnç değerlerinin yükselmesi ve kalınlığına şişme oranında azalma olduğu bilinmektedir (Lehman, 1965; Maloney, 1970; Maloney, 1977; Au ve Gertjeansen, 1989; Göker vd., 1993). Gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için yapılan basit varyans analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ( $P<0.05$ ). Şekil 6b'de gösterilen yonga levhaların elastikiyet modülü ise, tutkal kullanım oranı arttıkça artış göstermiştir. En düşük elastikiyet modülü %10'luk üre formaldehit kullanımında elde edilmiştir. Grupların eğilme direnci değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 = Fenol%8 < Fenol%10 < Fenol%12. Sonuçlar yoğunluk değerleri ile aynı trendde bulunmuştur. Grupların elastikiyet modülü değerleri ise istatistik açıdan Üre%10 < Fenol%8 < Fenol%10 < Fenol%12 şeklinde farklılık göstermiştir.



Şekil 4. Üre %10, fenol %8,10 ve12 tutkallarla üretilmiş levhaların, a) 2s, 24s, 48s, 72s'de su alma oranı (%), b) 2s, 24s, 48s, 72s'de kalınlığa şişme oranı (%)



Şekil 5. Üre%10, fenol %8, 10 ve 12 tutkallarla üretilmiş levhaların FTIR spektrasi



Şekil 6. Levhaların a) Eğilme direnci b) Eğilmede elastikiyet modülü c) İç yapışma direnci değerleri

%10 üre ve %8 fenol formaldehit tutkallı örneklerin iç yapışma dirençleri benzer sonuç göstermiş olup en düşük değerlerdedir (Şekil 6c). Fenol formaldehit içerikli örnekler kendi aralarında kıyaslandığında ise %8 ve %10'luk örneklerin iç yapışma direnci değerleri arasında %92'lik ciddi bir fark oluşurken, %10 ve %12'lik örneklerde ise %18'lik bir fark mevcuttur. Şekil 6c'de gösterilen iç yapışma direnç özelliklerinde, tutkal oranının artmasına doğrusal olarak artan iç yapışma özelliklerinin nedeni; tutkalın yonga ile arayüzündeki bağlanma mukavemetinin, yonga levhaların deformasyona direnme kabiliyetinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Fenol formaldehit reçinesi tarafından sergilenen güçlü bağlanma kuvveti, reçinenin üç boyutlu bağlanma etkisinin yanı sıra yonganın gözeneklerine ve çatlaklarına nüfuz etme eğiliminin yüksek olmasından kaynaklanabilir ve bu da daha iyi mekanik kenetlenmeye neden olabilir (Mamza vd., 2014). Bu bilgi ışığında, tutkal oranının direnç özellikleri ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. İç yapışma direnci değerleri üzerine gruplar arasındaki farklılığı istatistiki açıdan görebilmek için

yapılan basit varyans analizinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ( $P < 0.05$ ). Grupların iç yapışma direnci değerleri Duncan homojenlik gruplarında şöyle sıralanmıştır: Üre%10 = Fenol%8 < Fenol%10 = Fenol%12. Sonuçlar eğilme direncinde de olduğu gibi, yoğunluk değerleri ile aynı trendde bulunmuştur.

Çizelge 3'de üretilen levhaların sonuçları BS EN 312'de (2010) belirtilen kullanım yerlerine göre sınıflandırılmıştır. Buna göre Fenol 10 ve 12 nolu gruplar eğilme ve çekme direnci bakımından, Fenol 8, 10 ve 12 nolu gruplar elastikiyet modülü bakımından tüm kullanım sınıflarını karşılarken, Üre 10 ve Fenol 8, sadece çekme direnci açısından Tip P1 sınıfının gerekliliğini karşılayabilmiştir. Üretilen tüm levha grupları 24 saatlik şişme değerleri açısından ilgili standartta belirtilen gereklilikleri sağlayamamıştır. Bunun muhtemel sebebi su iticiliği sağlayan parafin gibi hidrofobik maddelerin kullanılmaması olabilir. Bu sonuçlar levhaların suya karşı dayanımını arttırıcı modifikasyon gibi işlemler ile hidrofobik kimyasalların kullanımının gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Çizelge 3. Üretilen levhaların BS EN 312 (2003) standardına göre kullanım sınıfları

|                    | Tip P1   | Tip P2   | Tip P3   | Tip P4   | Tip P5   | Tip P6   | Tip P7   |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Eğilme direnci     | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 |
|                    | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 |
| Elastikiyet modülü |          | Fenol 8  | Fenol 8  | Fenol 8  | Fenol 8  | Fenol 8  | Fenol 8  |
|                    |          | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 |
|                    |          | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 |
| Çekme direnci      | Üre 10   | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 | Fenol 10 |
|                    | Fenol 8  | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 | Fenol 12 |
|                    | Fenol 10 |          |          |          |          |          |          |
| 24 saat şişme      |          |          |          |          |          |          |          |

Tip P1: Kuru ortam genel kullanım, Tip P2: Kuru ve iç ortam, P3: Yük taşımayan nemli ortam, Tip P4: Yük taşımaları kuru ortam, Tip P5: Yük taşımaları nemli ortam, Tip P6: Ağır yük taşımaları kuru ortam, Tip P7: Ağır yük taşımaları nemli ortam.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada farklı tutkal oranlarda kullanılan fenol formaldehit tutkalı ile üretilen yonga levhaların bazı fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak artan fenol formaldehit tutkal oranına bağlı olarak yonga levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. Fiziksel özellikler bakımından, su alma ve kalınlığına şişme değerlerinde üre formaldehit içerikli örneklerin en çok su aldığı ve şiştiği görülmüş, en iyi değerler ise %10 ve %12 fenol formaldehit içeren levhalarda ölçülmüştür. Mekanik özelliklerde %12'lik ve %10'luk örnekler birbirine yakın ve en iyi değerleri verirken, diğer örnekler birbirine benzer ancak en düşük değerlere sahip olduğu bulunmuştur. Farklı testlerin üretilen bütün varyasyonlardaki yonga levhalara uygulanmasında elde edilen değerler, gruplar arasında doğrusal ve benzer farklarda çıkmıştır. Kalınlık artışı, su alma oranı, eğilme direnci ile iç yapışma direnci deneme levhaların yoğunluk değerleri ile lineer bir ilişki göstermiştir.

#### Açıklama

Bu çalışma 2230282 nolu TÜBİTAK 1002 projesiyle desteklenmiştir. Yonga ve tutkal temin edilmesinde yardımcı olan Kastamonu Entegre ve Vezirköprü Orman Ürünleri firmalarına da teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Aizat, A.G., Paiman, B., Lee, S. H., Zaidon, A., 2019. Physico-mechanical properties and formaldehyde emission of rubberwood particleboard made with UF resin admixed with ammonium and aluminium-based hardeners. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 27 (1): 473-488.
- Akbulut, Y., 2020. Sunta – Yonga Levha, <https://akbulut-yapi.com/2018/11/27/sunta-yonga-lehva/>, Erişim: 19.03.2024.
- Akbulut, T. ve Ayrılmış N., 2024. Yongalevha endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Orman Endüstri Mühendisliği ders notu (<https://www.slideshare.net/slideshow/yongalevha-endustrisi-particleboard-industry/266354952>)
- Akbulut, T., 1995. Çeşitli faktörlerin yatay preslenmiş yonga levhaların özellikleri üzerine etkisi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASTM D1037, 2006. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. ASTM International West Conshohocken, PA, USA.
- Au, K.C., Gertjeansen, R.O., 1989. Influence of wafer thickness and resin spread on the properties of paper birch waferboard. *Forest Products Journal*, 39(4): 47-50
- Bozkurt, A.Y., Göker, Y., 1985. Yonga levha endüstrisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 3311/372.
- BS EN 312, 2010. Particleboards – Specifications. British Standards Institution, London.
- Chow, P., 1979. Phenol adhesive bonded medium-density fibreboard from *Quercus rubra* L. bark and sawdust. *Wood and Fiber Science*, 11:92-98
- Dizman Tomak, E., 2005. Kimyasal modifikasyonun kızılğaç ve ladin yongalevhalarında fiziksel, mekanik ve biyolojik özelliklere etkisi, Yüksek lisans tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Fengel, D. ve Wegener, G., 1983. *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*, Berlin, New York: De Gruyter.
- Göker, Y., Kalaycıoğlu, H., As, N., Akbulut, T., 1993. Ağaç türü, tutkal miktarı ve formaldehit/üre mol oranının yonga levhanın özellikleri üzerine etkisi. Orenko'93 2. Ulusal Orman Ürünleri Endüstrisi Kongresi, 6 - 09 Ekim 1993, Trabzon, s. 50-61.

- Gündüz, G., Masraf, Y., 2005. Üç tabakalı yatık yongalı yonga levha üretiminde üretim şartlarının değiştirilmesinin levhaların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi. *ZKÜ, Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(8): 49-57.
- İstek, A., Kurşun, C., Aydemir, D., Köksal, S. E., Kelleci, O., 2017. Yüzey tabaka yonga oranının yonga levha özelliklerine etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 182-186.
- İstek, A., Sıradağ, H., 2013. The effect of density on particleboard properties. *ICFS, International Caucasian Forestry Symposium*, 24-26 October, Artvin, pp. 932-938.
- Kara, M. E., 2018. Nanoteknolojik ürünlerle modifiye edilen FF ve MUF tutkallarının odun kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. Doktora tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kaya, N., 2017. Fındık ve çeltik kabukları ve odun talaşı ile takviye edilmiş termoset kompozitlerde reçine türünün fiziksel özelliklere etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(3): 1076-1087.
- Kelleci, O., 2013. Silan ile modifiye edilen üre formaldehit kullanılarak üretilmiş yongalevhaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kevin, E.I., Ochanya, O.M., Olukemi, A.M., Bwanhot, S.T.N., Uche, I., 2018. Mechanical properties of urea formaldehyde particle board composite. *American Journal of Chemical and Biochemical Engineering*, 2(1):10-15.
- Lee, S. & Thole, V., 2018. Investigation of modified water glass as adhesive for wood and particleboard: mechanical, thermal and flame retardant properties. *European Journal of Wood and Wood Products*. 76: 1427-1434.
- Lehman, W.F., 1965. Improved particleboard through better resin efficiency. *Forest Products Journal*, 15:155-161.
- Li, J., Zhang, J., Zhang, S., Gao, Q., Li, J., Zhang, W., 2017. Fast curing bio-based phenolic resins via lignin demethylated under mild reaction condition. *Polymers*, 9: 428.
- Maloney, T. M., 1970. Resin distribution in layered particleboard. *Forest Products Journal*, 20(1):43-52.
- Maloney, T., 1977. *Modern Particle Board and Dry-Process Fiberboard Manufacturing*. Miller Freeman Publications, San Francisco/California.
- Mamza, A.P., Ezech, E.C., Gimba, E.C., Arthur, D.E., 2014. Comparative study of phenol formaldehyde and urea formaldehyde particleboards from wood waste for sustainable environment. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(9):53-61.
- Milner, H.R., Woodard, A.C., 2016. Sustainability of engineered wood products. In: *Sustainability of Construction Materials* (Ed: Khatib, J.), Woodhead Publishing, pp. 159-180.
- Nemli, G., Demirel, S., Zeković, E. 2011. The Influences Of Moisture Content of The Particle, Paraffin Usage and Wood Species on the Some Technological Properties of Particleboard. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 7 (2): 81-93.
- ORMA, 2017. Ahşap bazlı ürün tanıtım ve kullanma kılavuzu, [https://www.orma.com.tr/wp-content/uploads/2019/10/DOKUMANLAR-Orma\\_Kalite\\_Kitap%C3%A7%C4%B1%C4%9F%C4%B1\\_M01.pdf](https://www.orma.com.tr/wp-content/uploads/2019/10/DOKUMANLAR-Orma_Kalite_Kitap%C3%A7%C4%B1%C4%9F%C4%B1_M01.pdf), Erişim: 19.09.2024.
- Prasetyo, K.W., Astari, L., Syamani, F.A., Subyakto, S., 2019. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 374: 012050.
- Şahin, M. E., Kalaycıoğlu, H., Aras, U., 2022. Odun esaslı levha sektöründe yaşam döngüsü analizine bir bakış. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı): 342-354.
- Şenel, A., 1996. mobilya endüstrisinde kullanılan lamine ve laminatlı malzemeler. *Gazi Üniversitesi, Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Dergisi*, 4: 187-199.
- TS EN 310, 1999. Odun esaslı levhalar-Eğilme dayanımı ve eğilme elastikiyet modülünün tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 317, 1999. Yonga levhalar ve lif levhalar-Su içerisine daldırma işleminden sonra kalınlığına şişme tayini. TSE, Ankara.

- TS EN 319, 1999. Yonga levhalar ve lif levhalar-Levha yüzeyine dik çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 322, 1999. Odun esaslı levhalar-Rutubet miktarının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 323, 1999. Odun esaslı levhalar-Birim hacim ağırlığının tayini. TSE, Ankara.
- Wong, E.D., Zhang, M., Wang, Q., Kawai, S., 1999. Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. *Wood Science and Technology*, 33(4): 327-340.
- Yang, T.H., Lin, C.H., Wang, S.Y., Tsai, M.J., 2007. Characteristics of particleboard made from recycled wood-waste chips impregnated with phenol formaldehyde resin. *Building and Environment*, 42: 189-195.
- Zhang, W., Ma, Y., Wang, C., Li, S., Zhang, M., Chu, F., 2013. Preparation and Properties of Lignin-Phenol-Formaldehyde Resins Based on Different Biorefinery Residues of Agricultural Biomass. *Industrial Crops and Products*, 43:326-333.

## Air quality impact of natural protected areas: A case study of Sarayıçı Tavuk Forest, Edirne, Türkiye

Eylül Malkoç<sup>a,\*</sup> 

**Abstract:** This study investigated the regulatory ecosystem services of Sarayıçı Tavuk Forest, a natural protected urban forest in Edirne, Turkey, with a focus on its ability to improve air quality. The i-Tree Canopy Tool was used to categorise land-cover classes within the forest and assess air quality impacts using pollutant removal and carbon sequestration estimates. The results show that the Sarayıçı Tavuk Forest eliminates 5,014.68 kg/yr of pollutants, sequesters 183,000 kg/yr of carbon, and stores a total of 4,596,680 kg of carbon throughout the lifespan of its trees. The economic value of these regulatory ecosystem services is estimated at 864,177 USD annually and substantially improves air quality. The results of this study provide valuable insights for researchers, landscape managers, and policymakers involved in regional planning, decision-making, and green space improvement in cities. This study highlights the vital role of natural protected urban forests in improving air quality and underscores the need for their preservation and integration into landscape and urban planning strategies for sustainable development in response to 21st-century challenges.

**Keywords:** Air quality impact, Ecosystem services, Natural protected Area, i-Tree Canopy, Sarayıçı Tavuk Forest

## Doğal sit alanlarının hava kalitesine etkisi: Sarayıçı Tavuk Ormanı, Edirne, Türkiye

**Özet:** Bu çalışmada, Edirne’de doğal sit alanı statüsünde olan Sarayıçı Tavuk Ormanı’nın sağladığı düzenleyici ekosistem hizmetleri incelenerek, hava kalitesi iyileştirme etkisi hesaplanmıştır. Çalışmada i-Tree Canopy v.7.1 kullanılarak, Sarayıçı Tavuk Ormanı arazi örtüsü sınıflandırılmış ve arazi örtüsünün hava kalitesine olan etkisi: kirleticilerin uzaklaştırılması, karbon tutulması ve depolanması tahminleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Sarayıçı Tavuk Ormanı’nın yılda 5,014.68 kg kirletici gaz ve partikülü ortadan kaldırdığını, yılda 183,000 kg karbon tuttuğunu ve ormandaki ağaçların toplam 4,596,680 kg karbon depoladığını göstermektedir. Bu düzenleyici ekosistem hizmetlerinin ekonomik değeri yılda 864,177 USD olarak tahmin edilmekte olup, hava kalitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Bulgular, kentsel ve peyzaj planlama üzerine çalışan araştırmacılar ile karar alma süreçlerinde çalışan yönetici ve politikacılar için kent ormanlarının ekolojik ve ekonomik değerini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, doğal sit alanı statüsünde olan kent ormanlarının hava kalitesini artırmadaki önemli rolünü vurgulamakta ve kent ormanlarının 21. yüzyılın en önemli zorluklarından olan iklim krizine yanıt olarak peyzaj ve kentsel planlama stratejilerine entegrasyonunun gerekliliğini vurgulamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Hava kalitesi etkisi, Ekosistem hizmetleri, Doğal sit alanı, i-Tree Canopy, Sarayıçı tavuk ormanı


### 1. Introduction


Forests provide health, aesthetic, and recreational benefits, while providing vital resources such as food, fodder, fuel, and timber (Turner-Skoff and Cavender, 2019). They form prominent features of urban landscapes (Roy et al., 2012), and offer a range of benefits and functions, ranging from intangible psychological and aesthetic improvements to vital ecosystem services (Aerts and Honnay, 2011; Mori et al., 2017). The primary ecosystem services of forests are classified into four groups: provisioning, regulating, cultural, and supporting (MEA, 2005).


One of the most important regulatory services of forests is their impact on air quality (Smith, 1990). Forests improve air quality by trapping particulate matter and absorbing greenhouse gases (GHGs; Nowak et al., 2014). They can store, filter, and transform pollutants through their physiological characteristics (Nowak et al., 2018) and absorb and filter substantial amounts of carbon dioxide, particulate

matter, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide annually (Nowak et al., 2014). CO<sub>2</sub> is used in photosynthesis and stored in the tissues of woody plants. SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> are absorbed by leaves and removed from the environment (Smith, 1990). Particulate matter, namely PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> (particles of 2.5 and 10 µm in size, respectively), which are among the most harmful components of air pollution (THHP, 2023), are collected on leaf surfaces and then transported into the soil with precipitation (Smith, 1990).

Particulate matter and greenhouse gases, produced by human activities such as heating, transportation, industry, and electricity generation, manifest themselves as a mixture of suspended solid and liquid particles in the air. This mixture contributes to many respiratory, cardiovascular, and nervous system disorders, including cancer (Perez et al., 2015). CO<sub>2</sub>, in particular, leads to the greenhouse effect, which increases air temperature and stimulates the urban heat island effect in cities (Beckett et al., 1998). Therefore, air quality improvement has become imperative for urban residents as

 <sup>a</sup> Trakya University, Faculty of Architecture, Department of Landscape Architecture, Edirne 22030, Turkey

 <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): eylulmalkoc@trakya.edu.tr

 **Received** (Geliş tarihi): 25.02.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 01.07.2024



**Citation** (Atf): Malkoç, E., 2024. Air quality impact of natural protected areas: A case study of Sarayıçı Tavuk Forest, Edirne, Türkiye. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 333-339. DOI: [10.18182/tjf.1442373](https://doi.org/10.18182/tjf.1442373)

well as local and national authorities (Watts et al., 2015; MoEUCC, 2024a). In light of climate change and the adaptation requirements of cities in the 21st century (Tomlinson et al., 2011), the role of urban forests in air quality regulation has gained significant attention (Brack, 2002; Loughner et al., 2012; Nowak et al., 2014; Rahaman et al., 2021). Therefore, scientific studies assessing the regulatory ecosystem services of forests have gained prominence.

Escobedo et al. (2008) assessed the advantages of air purification by urban forests in Santiago and compared them with other effective air purification methods for pollutant removal. Similarly, Nowak et al. (2008) applied a ground-based method for ecosystem services assessment of urban forests in 14 United States cities, while Martin et al. (2012) analysed differences in carbon storage, carbon sequestration, and air pollution removal between protected and maintained forests in the USA. Hepcan and Hepcan (2017) assessed tree cover in the Ege University Housing Campus in İzmir and evaluated its effectiveness in removing harmful pollutants from the atmosphere. Tonyaloğlu et al. (2021) examined fragmented and scattered tree structures in Aydın City and calculated their impact on air quality at a city-scale.

Ahern et al. (2014) emphasised the importance of quantifying ecosystem services through mathematical approaches. The i-Tree Canopy tool has been used to calculate the impact of trees on air quality (Nowak, 2021), evaluating the ability of forests to improve air quality by removing harmful substances from the air, and estimating the annual volume of various pollutants removed by trees (Qian et al., 2019). Given the constant and rapid changes in urban environments in the 21st century, the i-Tree Canopy tool provides a cost-effective, rapid, flexible, and practical assessment option for researchers, landscape managers, city planners, and policymakers.

Sarayıçi Tavuk Forest, a historically and ecologically valuable urban green space, is located in the central (Merkez) district of Edirne, covering 70.62 ha. Access to Sarayıçi Tavuk Forest is via historic Ottoman bridges: Bönçe (constructed in 1452) and Saray (constructed in 1554). The area includes a hunting pavilion (constructed in 1671) and the Mehmed Mansion, adding to the urban green space's ecological and cultural significance. In 2019, the Sarayıçi Tavuk Forest was designated as a 'Natural Site-Qualified Natural Conservation Area' and a 'Natural Site-Sustainable Conservation and Controlled Use Area' (MoEUCC, 2024b).

When forests are designated as protected areas, their role in providing ecosystem services becomes more prominent (Hayes and Ostrom, 2005). However, research on ecosystem services in forests classified as naturally protected sites in Türkiye is lacking. Başak et al. (2022) found that only 22.3% of studies on ecosystem services were carried out within strictly protected areas, notably biodiversity hotspots, in Türkiye. Moreover, these studies predominantly focused on a single dimension—cultural ecosystem services—or

simultaneously addressed provisioning, regulating, and cultural ecosystem services.

As our understanding of the importance of natural protected areas and urban forests has increased, the need for in-depth information on regulating ecosystem services, with a focus on air quality improvement, has emerged as a key concern. The aim of this study was to bridge this knowledge gap and shed light on the critical importance of natural protected areas, particularly their role in regulating ecosystem services such as air quality improvement in Edirne, Türkiye. To the best of our knowledge, this is the first study to assess the current air quality impacts of a natural protected area in Edirne: Sarayıçi Tavuk Forest. Furthermore, the methodology applied here can inform future studies on air quality impact assessments of urban forests at the city-wide level.

## 2. Material and method

### 2.1. Study area

Sarayıçi Tavuk Forest is located 2.5 km far from the centre of Edirne Merkez District and adjacent to the Tunca River (41°41'47.21" N 26°33'37.67" E; Figure 1).

The forest served as a hunting ground during the Ottoman era, and the palace introduced various animals for hunting and planted diverse tree species, enriching the forest's plant and bird species (Özer, 2013). Usal (2006) characterised this area as a botanical laboratory and noted the presence of various medicinal herbs and bulbous plants. Marangoz (2022) identified tree and shrub species in Tavuk Forest as: *Acer negundo*, *Hedera helix*, *Robinia pseudoacacia*, *Biota orientalis*, *Laburnum anagyroides*, *Rosa canina*, *Celtis australis*, *Morus alba*, *Salix alba*, *Cercis siliquastrum 'Alba'*, *Quercus cerris*, *Salix babylonica*, *Clematis vitalba*, *Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Eleagnus angustifolia*, *Platanus orientalis*, *Ulmus minor*, *Euonymus japonica*, *Populus alba*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus nigra*, *Gleditschia triacanthos*, and *Prunus spinosa*. Known for its rich vegetation, the forest is home to approximately 70 bird species.

### 2.2. Calculating air quality impact

The air quality impact assessment was conducted using the i-Tree Canopy Tool v7.1 (a web-based GIS tool), developed by the USDA Forest Service (Nowak, 2021). To assess the air quality impact of the Sarayıçi Tavuk Forest, land-cover classes within the study area were first classified using the random point sampling method, which works in conjunction with Google Earth satellite imagery (Nowak, 2021). Examples of targeted land-cover classes are shown in Figure 2.





Figure 1. Study area



Figure 2. Visual representations of targeted land-cover classes: (1) Grass/Herbaceous, (2) Impervious Building, (3) Impervious Other, (4) Impervious Road, (5) Soil/Bare Ground, (6) Tree/Shrub (Source: Aerial Images from Google Earth Pro)

The analysis in i-Tree Canopy involved four steps. (1) Defining the boundaries of the study area using high-resolution Google Earth satellite images. (2) Identifying land-cover classes, including: 'Tree/Shrub' (trees and tall shrubs), 'Grass/Herbaceous' (covered areas with herbaceous vegetation), 'Soil/Bare Ground' (soil surfaces with scant or no vegetation), 'Impervious Buildings', 'Impervious Roads', and 'Impervious Other' (buildings, roads, and other impervious surfaces). (3) Generating 1,000 random sampling points within the study area, each assigned to a specific land-cover type, to assess the land-cover types in the Sarayıçı Tavuk Forest. To ensure accuracy with a confidence level of > 95% and a standard error of < 1.6%, 1,000 random points were used in accordance with the recommendations of the i-Tree Canopy user guide (<https://canopy.itreetools.org/>). (4) Based on the current regulatory requirements for tree/shrub cover area, ecosystem services and its benefits were estimated using i-Tree Canopy Tool that calculates carbon sequestration and storage and the removal of nitrogen dioxide, ozone, sulphur dioxide, PM2.5 and PM10 as well as their monetary value (Nowak et al., 2014; Nowak et al., 2018). The coefficient values for carbon estimations are based on the average carbon density per unit of canopy cover in urban areas. USA based average values were used to calculate the air pollutant removal rates, carbon sequestration and carbon storage values, as well as the economic values provided by a unit tree/shrub in the i-Tree Eco and statistically standardised based on USA cases (Çakmak and Can, 2020; Nowak, 2021).

### 3. Results and discussion

The land-cover classes, as well as random points (N), percentage and area for each land-cover class, percentage and area of all land-cover classes, standard error rates, and distribution of random sampling points are shown in Figure 3 and Table 1.

The dominant land-cover class in the study area was Tree/Shrub (84.72%, 59.83 ha). This was followed by Grass/Herbaceous (7.59%, 5.36 ha) and Soil/Bare Ground (4.30%, 3.03 ha). The least prevalent land-cover was impervious surfaces (3.40% ratio, 2.40 ha). Standard deviation values of < 1 indicated that the point distributions across the land-cover classes in the study area were equally weighted for all classes.

Table 1. Area and percentage of each land-cover class in the Sarayıçı Tavuk Forest

| Cover class          | Points (N) | % Cover $\pm$ SE | Area (ha) $\pm$ SE |
|----------------------|------------|------------------|--------------------|
| Grass/Herbaceous     | 76         | 7.59 $\pm$ 0.84  | 5.36 $\pm$ 0.59    |
| Impervious Buildings | 20         | 2.00 $\pm$ 0.44  | 1.41 $\pm$ 0.31    |
| Impervious Other     | 2          | 0.20 $\pm$ 0.14  | 0.14 $\pm$ 0.10    |
| Impervious Road      | 12         | 1.20 $\pm$ 0.34  | 0.85 $\pm$ 0.24    |
| Soil/Bare Ground     | 43         | 4.30 $\pm$ 0.64  | 3.03 $\pm$ 0.45    |
| Tree/Shrub           | 847        | 84.72 $\pm$ 1.14 | 59.83 $\pm$ 0.80   |
| Total                | 1,000      | 100.00           | 70.62              |

SE: Standard Error



Figure 3. Distribution of random sample points (N = 1,000) in Sarayıçı Tavuk Forest

The sensitivity of the i-Tree Canopy tool is directly related to the number of points used in the analysis. In this study, 1,000 points were distributed across the Sarayıçi Tavuk Forest, spanning 70.62 ha. This quantity is consistent with acceptable norms, as observed in other studies that utilised the same assessment approach. For example, a study examining tree canopy in Atlantic Beach, Florida, which covers an area of 33.6 km<sup>2</sup>, used 1,000 points (Marcus, 2015). Similarly, in a study that examined the tree canopies of 139 green areas in Australia, each region was assigned 1,000 points (Jacobs, 2013).

The i-Tree Canopy tool facilitates the computation of index values for the five key pollutants stipulated in Türkiye's National Air Quality Index: CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, and particulate matter (MoEUCC, 2024a). The quantities of pollutants removed from the atmosphere and the amount of carbon sequestered and stored in the Sarayıçi Tavuk Forest are presented in Table 2. In total, Sarayıçi Tavuk Forest removes 5,014.68 kg of pollutant gases and particles from the air annually.

The amounts of CO and NO<sub>2</sub> removed from the air were estimated to be 75.74 and 418.44 kg/yr, respectively. The amount of O<sub>3</sub> removed was estimated at 3,232.29 kg/yr. The SO<sub>2</sub> removal through canopy was estimated to be 205.70 kg/yr. The amounts of particulate matter removed from the atmosphere by tree/shrub cover in the study area were estimated to be 165.13 kg/yr of PM<sub>2.5</sub> and 917.39 kg/yr of PM<sub>10</sub>.

Moreover, the annual carbon sequestration by canopy cover was estimated at 183,000 kg/yr, with total carbon storage reaching 4,596,680 kg (Table 3).

The annual carbon sequestration by trees was estimated at 671,000.13 kg, with total carbon storage estimated at 16,854,000.51 kg (in CO<sub>2</sub> equivalent units). The annual economic value of regulatory ecosystem services that help improve air quality through canopy cover was estimated at 864,177 USD, and the value of carbon sequestered in trees annually was estimated at 34,410 USD. Several studies have focused on the role of forests in reducing carbon emissions and in capturing and storing carbon (Johnson et al., 2011). Natural protected areas, which include tall and aged plants, contribute positively to the urban climate by reducing temperatures in summer and increasing in winter, ensuring urban thermal comfort, and consequently reducing the amount of fossil fuels used for heating and cooling (Tomlinson et al., 2011; Cho et al., 2023). In this context, the presence of protected forests, especially those proximate to urban centres and those characterised by tree and tall shrub cover, holds great potential (Martin et al., 2012; Nowak et al., 2018). The results of this study show that Sarayıçi Tavuk Forest, located close to the city centre, plays a crucial role in improving air quality by removing pollutants, capturing particulate matter, and sequestering carbon from the air.

The dominant tree and shrub species in Sarayıçi Tavuk Forest are *Acer negundo*, *Hedera helix*, *Robinia pseudoacacia*, *Biota orientalis*, *Laburnum anagyroides*, *Rosa canina*, *Celtis australis*, *Morus alba*, *Salix alba*, *Cercis siliquastrum 'Alba'*, *Quercus cerris*, *Salix babylonica*, *Clematis vitalba*, *Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Eleagnus angustifolia*, *Platanus orientalis*, *Ulmus minor*, *Euonymus japonica*, *Populus alba*, *Thuja occidentalis*, *Fraxinus angustifolia*, *Populus nigra*, *Gleditschia triacanthos*, and *Prunus spinosa*. It is possible to assess the carbon storage or sequestration in different tree species (Durkaya and Durkaya, 2018). However, for statistical estimations of air quality and its associated economic value, the i-Tree Canopy tool considers the canopy cover of all trees and tall shrubs collectively, without distinguishing between species (Hilde and Paterson, 2014; Nowak, 2021). While this may be viewed as a limitation in accurately determining the precise values of ecosystem services and economic returns, large-scale studies conducted across extensive areas, facilitated by the simple, rapid, and cost-effective assessments provided by the i-Tree Canopy Tool, are crucial to well-founded urban and landscape planning decisions.

Understanding urban components such as urban forests and their economic value, along with regulatory ecosystem services, is crucial for citizens and local authorities. In this study, the annual economic value of the regulatory ecosystem services provided by the tree canopy, covering approximately 84.72% (Table 1) of the selected sample area for air quality improvement, was calculated to be approximately 69.726 USD (Table 2). Almost half of this contribution comes from annual carbon sequestration of trees in the study area. Additionally, the total amount of carbon stored over the life span of trees in the Sarayıçi Tavuk Forest is valued at 864,177 USD (Table 3). Numerous studies conducted in different areas have evaluated the economic contribution of urban forests to improving air quality. In Chicago, for example, Nowak et al. (2013) calculated the value of ecosystem services of open-green spaces to be 137 USD million; Hepcan and Hepcan (2017) calculated the economic value of Ege University housing complex to be approximately 112,000 USD. Similar studies conducted worldwide have also found high annual economic value contribution for regulatory ecosystem services, depending on the size and whether the forest is rural or urban. Considering these economic values and regulatory ecosystem services into account, urban forests contribute significantly to the urban economy, even if it is just to improve air quality.

Globally, numerous studies have assessed ecosystem services in rural landscapes, while research on urban landscapes accounts for only 10% of studies (Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Derksen et al., 2015). Likewise, Başak et al. (2022) showed that the majority of ecosystem services studies in Türkiye are predominantly conducted in rural landscapes such as Düzlerçam Forests (Balkız, 2016), Istanbul Ömerli Basin (Albayrak, 2012), and Sultan Sazlığı National Park (Yıldız et al., 2023). This study represents an additional contribution to the assessment of regulatory ecosystem services in the urban forests of Türkiye.

Table 2. Pollutants removed from the air annually

|                    | Amount (kg) ± SE | Value (USD) ± SE |
|--------------------|------------------|------------------|
| CO                 | 75.74 ± 1.02     | \$111 ± \$1      |
| NO <sub>2</sub>    | 418.44 ± 5.62    | \$202 ± \$3      |
| O <sub>3</sub>     | 3,232.29 ± 43.44 | \$9,256 ± \$124  |
| SO <sub>2</sub>    | 205.70 ± 2.76    | \$30 ± \$0       |
| PM <sub>2.5</sub>  | 165.13 ± 2.22    | \$19,378 ± \$260 |
| PM <sub>10</sub> * | 917.39 ± 12.33   | \$6,339 ± \$85   |
| Total              | 5,014.68 ± 67.40 | \$35,316 ± \$475 |

SE: Standard Error

Table 3. Tree benefit estimates of carbon

|  | Amount (kg) ± SE  | CO <sub>2</sub> Equiv. (kg) ± SE | Value (USD) ± SE     |
|--|-------------------|----------------------------------|----------------------|
| C Sequestered Annually in Trees        | 183,000 ± 2.46    | 671.13 ± 9.02                    | \$34,410 ± \$462     |
| C Stored in Trees (not an annual rate) | 4,596,680 ± 61.78 | 16,854,000.51 ± 226.53           | \$864,177 ± \$11,615 |

i-Tree Canopy is a rapid, pragmatic, and user-friendly tool designed to assess regulatory ecosystem services and their economic value. Although it is predominantly utilised in the United States, its application extends to various countries, including China, the United Kingdom, Canada, Australia, Switzerland, İnan, and Türkiye (Hilde and Paterson, 2014; Qian et al., 2019; Ghorbankhani et al., 2023; Selim et al., 2023). The results obtained with this tool provide transparent data that illustrates the advantages associated with urban forests and vegetation.

One criticism of i-Tree Canopy is its reliance on baseline data, including carbon estimations, and air pollution removal capacities and their monetary values, which are statistically standardised based on calculations in the United States (Tuğluer and Gül, 2018; Çakmak and Can, 2020). The limitations associated with carbon estimations aligns with the limitations of the tree biomass estimates because both coefficient values are correlated. Nevertheless, it is noteworthy that this tool is increasingly being used in various countries and the carbon estimates are standardized values per unit of tree cover that are comparable to estimates for U.S. forests and from other cities around the world (Nowak et al., 2013). Its ease of use, swift results, and high accuracy in assessing air quality regulatory ecosystem services have led to widespread global adoption of the tool; coupled with the development of country-specific coefficients for regions of interest, is expected to facilitate the achievement of more accurate and precise results.

Augmenting both the quantity and quality of nationally protected urban forests, preserving trees and shrubs, and promoting biodiversity is expected to enhance regulating ecosystem services. This, in turn, is expected to positively impact citizens' budgets and contribute to the local economy, particularly through initiatives to improve air quality and reduce electricity and fossil fuel consumption for heating and cooling. Furthermore, studies based on ecosystem services will play a crucial role in disseminating such research to other cities in Türkiye. This alignment with international standards and principles facilitates the integration of study outcomes into local and regional planning and management processes.

#### 4. Conclusion

The results of this research demonstrate the vital regulatory ecosystem services and economic value of a naturally protected urban forest in Edirne Merkez District. The extensive and dense canopy of the Sarayıçi Tavuk Forest removes 183,000 kg of C from the atmosphere annually and stores 4,596,680 kg of C throughout the lifespan of its trees. However, while this study concentrated on one area of Merkez District, comparable contributions from other urban green spaces with similar attributes would collectively increase these values. Moreover, the unique characteristics of the Sarayıçi Tavuk Forest not only make it a valuable component of urban green space in Merkez District but also serve as a prime example of natural protected areas in terms of regulatory ecosystem services. Along with analysing the status of the comprehensive knowledge gap on the ability of

urban forests to regulate ecosystem services in Türkiye, especially Edirne, the results of this study provide spatially explicit information on the ability to improve air quality in Sarayıçi Tavuk Forest.

The structure and presence of urban green spaces requires vigilant protection against the pressure of urban expansion. Additionally, the contemporary surge in population and impervious surfaces in urban areas have highlighted the role of forests in regulating air quality. Therefore, Sarayıçi Tavuk Forest is crucial for the citizens of Edirne. The estimated ecosystem and monetary values of the Tavuk Forest are based on values per unit of tree cover in USA, where more comprehensive research based on local values (e.g. above/below ground biomass, and tree species) could result in higher ecosystem services and monetary values of Sarayıçi Tavuk Forest. The results of this study offer valuable insights for urban and landscape planners concerned with the maintenance of urban green spaces, at home and abroad. Recognising the importance of urban green areas and their regulatory ecosystem services and economic benefits can promote sustainable development in cities. In addition, uncovering the air quality impact of Sarayıçi Tavuk Forest will provide a basis for researchers, landscape managers, city planners, and policymakers to conduct ecosystem service-based research at a citywide scale while considering the urgent need for climate change adaptation and mitigation in the 21st century.

#### References

- Aerts, R., Honnay, O., 2011. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. *BMC Ecology*, 11:1-10.
- Ahern, J., Cilliers, S., Niemelä, J., 2014. The concept of ecosystem services in adaptive urban planning and design: A framework for supporting innovation. *Landscape and Urban Planning*, 125: 254–259.
- Albayrak, İ., 2012. Applicability of ecosystem services based watershed management model in Istanbul-Omerli Case. PhD Thesis, The Technical University of İstanbul, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İstanbul.
- Balkız, O., 2016. Assessment of the socio-economic values of goods and services provided by Mediterranean forest ecosystems - Düzlerçamı Forest, Turkey. Orman Genel Müdürlüğü, Doğa Koruma Merkezi and Plan Bleu, Valbonne. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f8456239-28f5-4b16-98a6-9b551332f481/content>, Accessed: 31.05.2024.
- Başak, E., Pamukcu-Albers, P., Karabulut, A.A., Demirbaş Çağlayan, S., Besen, T., Erpul, G., Balkız, Ö., Çokçalışkan, B.A., Per, E., Atkin, G., 2022. Ecosystem services studies in Turkey: A national-scale review. *Science of the Total Environment*, 844: 157068.
- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, 99(3): 347–360.
- Brack, C.L., 2002. Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. *Environmental Pollution*, 116(1): 195–200.
- Cho, Y.II, Yoon, D., Lee, M.J., 2023. Comparative analysis of urban heat island cooling strategies according to spatial and temporal conditions using unmanned aerial vehicles (UAV) Observation. *Applied Sciences*, 13(18): 10052. <https://doi.org/10.3390/app131810052>.

- Çakmak, M.H., Can, M., 2020. Assessing regulating ecosystem services for improving the air quality of Mamak district (Ankara). *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2): 141–149.
- Derkzen, M.L., van Teeffelen, A.J.A., Verburg, P.H., 2015. Review: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: An assessment for Rotterdam, the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, 52(4): 1020–1032.
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2018. Orman Biokütlesinin Atmosfere Katkısı. *APJES*, 6(1): 56–63. <https://doi.org/10.21541/apjes.290427>.
- Escobedo, F.J., Wagner, J.E., Nowak, D.J., De La Maza, C.L., Rodriguez, M., Crane, D.E., 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management*, 86(1): 148–157.
- Ghorbankhani, Z., Zarrabi, M.M., Ghorbankhani, M., 2023. The significance and benefits of green infrastructures using I-Tree canopy software with a sustainable approach. *Environment, Development and Sustainability*, 26:14893–14913.
- Gómez-Baggethun, E., Barton, D.N., 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86: 235–245.
- Hayes, T., Ostrom, E., 2005. Conserving the World's Forests: Are Protected Areas the Only Way? *Indiana Law Review*, 38: 595–617.
- Hepcan, C.C., Hepcan S., 2017. Ege Üniversitesi lojmanlar yerleşkesinin hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik düzenleyici ekosistem servislerinin hesaplanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1): 113–120.
- Hilde, T., Paterson, R., 2014. Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in Central Texas. *Journal of Environmental Management*, 146: 524–534.
- Jacobs, P., 2013. *Temperature and Energy. Thermodynamics*, Imperial College Press, London, UK.
- Johnson, T.M., Guttikunda, S., Wells, G.J., Artaxo, P., Bond, T.C., Russel, A.G., Watson, J.G., West, J., 2011. Tools for Improving Air Quality Management: A Review of Top-down Source Apportionment Techniques and Their Application in Developing Countries. ESMAP formal report; no. 339/11. World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/17488>.
- THHP, 2023. Kara Rapor 2022 Hava Kirliliği ve Sağlık Etkileri. TemizHavaHakkiPlatformu. [https://www.temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2023/03/KaraRapor\\_v6.pdf](https://www.temizhavahakki.org/wp-content/uploads/2023/03/KaraRapor_v6.pdf), Accessed:31.05.2024.
- 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(10): 1775–1793.
- Marangoz, Ç.G., 2022. Edirne Tavuk ormanı florası ve farmasötik özelliklerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Marcus, C., 2015. *Tree Canopy Assessment City of Atlantic Beach, Florida*. Legacy Arborist Services, USA.
- Martin, N.A., Chappelka, A.H., Loewenstein, E.F., Keever, G.J., 2012. Comparison of carbon storage, carbon sequestration, and air pollution removal by protected and maintained urban forests in Alabama, USA. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 8(3): 265–272.
- MEA, 2005. *Ecosystems and Human Well-Being, Synthesis*, [www.islandpress.org](http://www.islandpress.org), Accessed: 31.05.2024.
- MoEUCC, 2024a. Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, National air quality monitoring stations web site, <https://sim.csb.gov.tr/Services/AirQuality>, Accessed:31.05.2024.
- MoEUCC, 2024b. Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, General Directorate of Protection of Natural Assets web site, <https://tvk.csb.gov.tr/edirne-merkez-sarayici-tavuk-ormanitescil-ilani-duyuru-396943>, Accessed:31.05.2024.
- Mori, A.S., Lertzman, K.P., Gustafsson, L., 2017. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology*, 54(1): 12–27.
- Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Hoehn, R.E., Walton, J.T., Bond, J., 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry*, 34(6): 347–358.
- Nowak, D.J., Hoehn, R.E., Bodine, A.R., Crane, D.E., Dwyer, J.F., Bonnewell, V., Watson, G., 2013. *Urban Trees and Forests of the Chicago Region. Resource Bulletin, NRS-84*. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E., 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193: 119–129.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., Pasher, J., 2018. Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29: 40–48.
- Nowak, D.J., 2021. *Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods. (General Technical Report NRS-200)*. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 100 p. plus 14 appendixes.
- Özer, M., 2013. Edirne Yeni Saray (Saray-i Cedid-i Amire) kazısı 2009 yılı çalışmaları. *Sanat Tarihi Dergisi*, 22(2): 1–43.
- Perez, L., Grize, L., Infanger, D., Künzli, N., Sommer, H., Alt, G.-M., Schindler, C., 2015. Associations of daily levels of PM10 and NO2 with emergency hospital admissions and mortality in Switzerland: Trends and missed prevention potential over the last decade. *Environmental Research*, 140: 554–561.
- 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(1): 53.
- Rahaman, S., Jahangir, S., Haque, M.S., Chen, R., Kumar, P., 2021. Spatio-temporal changes of green spaces and their impact on urban environment of Mumbai, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4): 6481–6501.
- 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(4): 351–363.
- Selim, S., Dönmez, B., Kılçık, A., 2023. Determination of the optimum number of sample points to classify land cover types and estimate the contribution of trees on ecosystem services using the I-Tree Canopy tool. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(3): 726–734.
- Smith, W.H., 1990. *Air Pollution and Forest. Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems*. Springer New York, NY, USA.
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E., Baker, C.J., 2011. Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK. *International Journal of Health Geographics*, 10(1): 1–14.
- Tonyaloğlu, E.E., Kesgin, A.B., Yiğit, M., 2021. Düzenleyici Ekosistem Hizmetlerinden Hava Kalitesinin Efeler -Aydın Örneğinde İncelenmesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1): 119–125.
- Tuğluer, M., Gül, A., 2018. The use of UFORE model for determination of environmental effects and value of urban trees; case study of Isparta city. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3): 293–307.
- Turner-Skoff, J., Cavender, N., 2019. The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants People Planet*, 1(4): 323–335.
- Usal, A., 2006. *Edirne Tarihi ve Kültürü*. Edirne Vergi Dairesi Başkanlığı, Edirne, Türkiye.
- Watts, N., Adger, W., Costello, A., 2015. Health and climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet*, 386(10006): 1861–1914.
- Yıldız, R., Yücel, C., Katircioğlu, G., 2023. Korunan alanların sürdürülebilirliğinde planlama ve yönetim: Kayseri Sultan Sazlığı. *Planlama*, 33(2): 324–339.

## Sivas'ın bazı doğal otsu türlerinin peyzaj tasarımında kullanım olanaklarının incelenmesi

Selvinaz Gülçin Bozkurt<sup>a,\*</sup> 

**Özet:** Bu çalışmada, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde geniş bir yüzölçüme sahip olan Sivas'ın doğal otsu bitki türleri incelenmiş ve bu türlerden peyzaj tasarımında kullanılabilir olan türlerin neler olduğu ve hangi amaçlarla kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bölgede yapılan arazi çalışmaları sonucunda alanın zengin bir floraya sahip olduğu ve 331 türün peyzaj tasarımında kullanılabilirliği belirlenmiştir. Tespit edilen türlerin peyzaj tasarımlarında olası kullanımlarının belirlenmesi için bitkiler; bulunduğu yer, çiçek rengi, çiçek mevsimi, kullanım alanı, element ve endemizm durumuna göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye göre 331 otsu türün 114'ü endemik, 158'i İran-Turan, 22'si Avrupa-Sibirya, 15'i Akdeniz elementi ve 136'sının bilinmeyen tür olduğu tespit edilmiştir. Alanda tespit edilen bu bitkilerin peyzaj tasarımlarında kullanılabilirliği için 12 kriter (1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak) ele alınmış ve bu kriterlerden 6 ve üzeri kritere sahip olan 98 tür, 5 kritere sahip 102 türün olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak alanda peyzaj tasarımlarında kullanılabilir en fazla türün Compositae familyasına ait (61 tür) olduğu, peyzaj değeri en yüksek türlerin ise; Labiatae, Boraginaceae, Scrophulariaceae, Campanulaceae familyası olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu türlerin peyzaj tasarım ve uygulamalarında kullanımları önerilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Doğal bitkiler, Peyzaj değerleri, Peyzaj mimarlığında kullanılan türler, Sivas

## Examination of the usage possibilities of some natural herbaceous species of Sivas (Türkiye) in landscape design

**Abstract:** In this study, the natural herbaceous plant species of Sivas, which has a large surface area in the Central Anatolia Region of Turkey, were examined and it was aimed to determine which species can be used in landscape design and for what purposes they can be used. As a result of the field studies carried out in this region, it was determined that the area has a rich flora and 331 species can be used in landscape design. Plants to determine the possible uses of the identified species in landscape designs; it was evaluated according to its location, flower color, flower season, usage area, element and endemism status. According to this evaluation, it was determined that 114 of 331 herbaceous species were endemic, 158 were Iranian-Turanian, 22 were European-Siberian, 15 were Mediterranean and 136 were unknown species. 12 criteria for the use of these plants identified in the field in landscape designs (1: ground floor flowers, 2: stone gardens, 3: water gardens, 4: indoors, 5: city parks, 6: roadsides, 7: natural landscape, 8: as a color combination element, 9: as a ground cover, 10: as plant groups, 11: on slopes, 12: as a climber) and it was determined that there were 98 species with 6 or more of these criteria and 102 species with 5 criteria. As a result, the most species that can be used in landscape designs in the area belong to the Compositae family (61 species), and the species with the highest landscape value are; it has been determined that it is a family of Labiatae, Boraginaceae, Scrophulariaceae and Campanulaceae. In addition, the use of these species in landscape design and applications has been suggested.

**Keywords:** Natural plants, Landscape values, Species used in landscape architecture, Sivas

### 1. Giriş

Günümüzde aşırı nüfus artışı, kentleşme ve endüstrileşmeye bağlı olarak ekosistemler bozulmakta ve doğal çevre üzerinde oluşan bu antropojenik baskılar kentsel ve kırsal alanlarda büyük zararlar oluşturmaktadır. Bunlar arasında aşırı otlatma, erozyonla toprak kaybı, orman yangınları, arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimi, doğadaki bitki örtüsünün yanlış amaçlarla aşırı derecede kullanımı biyoçeşitliliği tehdit etmekte, birçok endemik ve nadir bitki türü yok olmaktadır (Gülçin ve Deniz, 2020). Bu durum ekosistemin tahrip olmasına yol açarak doğal yaşam dengesi bozmaktadır.

Türkiye doğal bitki örtüsü bakımından dünyanın en zengin ülkelerinden biridir. Bunun nedeni Akdeniz, İran-Turan ve Avrupa-Sibirya fitocoğrafik bölgelerinin Anadolu'da bulunması ve bitki topluluklarının yer yer birbiri ile ilişki içinde olmasıdır (Davis, 1965). Ayrıca iklim farklılıkları, topografik çeşitlilik, jeolojik ve jeomorfolojik çeşitlilik, deniz, göl, akarsu gibi değişik su ortamları çeşitliliği, 0-5000 m'ler arasında değişen yükseklik farklılıkları, üç değişik bitki coğrafyası bölgesinin birleştiği bir yerde oluşu, Anadolu'nun doğusu ve batısı arasında ekolojik farklılıkların bulunması ve bütün bu ekolojik çeşitliliğin floristik çeşitliliğe yansımaları (Türkmen, 1987) ülkemizin biyoçeşitliliğinin zengin olmasının en önemli

✉ <sup>a</sup> Biruni Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, 34015, İstanbul, Türkiye

✉ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): sbozkurt00@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 02.12.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 30.07.2024



**Citation** (Atıf): Bozkurt, S.G., 2024. Sivas'ın bazı doğal otsu türlerinin peyzaj tasarımında kullanım olanaklarının incelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 340-350. DOI: [10.18182/tjf.1399391](https://doi.org/10.18182/tjf.1399391)

göstergesidir (Ergüner vd., 2019). Günümüzde de bu zengin biyoçeşitliliğin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımı hız kazanmıştır. Peyzaj tasarım çalışmalarının en önemli öğelerinden biri olan bitkiler; çiçek, meyve, dal, yaprak renk ve şekilleri, mevsimsel renk değişimleri ve doku özellikleri ile kullanıldıkları mekânlara estetik değerler katmaktadır. Buna ek olarak, bitkilerin; hava kirliliğini önleme, gürültüyü maskeleye, rüzgâr, toz ve gaz etkilerini azaltma, kent formuna dinamik etki verme, ulaşım akslarını belirleme, erozyonu önleme, iklim koşullarını iyileştirme gibi fonksiyonel özellikleri ile de yaşam kalitesini arttırmaktadırlar (Kurşun, 2014). Doğal bitkiler; buldukları bölgeye özgü iklim, toprak, yağış, kuraklık ve don gibi etmenlere bağlı olarak evrimleşmekte ve buldukları koşullara mükemmel bir şekilde adapte olmaktadır (Yazgan vd., 2005).

Ülkemizde genellikle peyzaj tasarımı uygulamalarında bitkisel materyalin yurt dışından ithal edildiği ve bu bitkilerin de ülkemizin iklim koşullarına uyum sağlayamadığı göz önüne alındığında, yeşil alan düzenlemelerinde doğal bitki türlerinden yararlanmanın gereği ve öneminin büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca doğal bitki türlerinin kullanımı yerine egzotik bitki türlerinin kullanımı biyolojik çeşitliliğe de zarar vermektedir (Meffe ve Carroll, 1994). Bazıları yayılcı özelliklerinden dolayı doğal bitki türleri üzerinde baskı oluşturmakta ve ekolojik dengeyi tehdit etmektedir. Buna karşılık kendi ekolojisinde, çok az bakım koşulları altında bitkilendirme çalışmalarında kullanılabilirler ve ülkemiz doğal bitki örtüsü içinde yer alan birçok otsu karakterli türler bulunmaktadır. Yalnızca egzotik türlere dayalı bir uygulamanın yaban hayatına çok az katkıda bulunması ya da neredeyse hiç habitat olanağı sağlamaması gibi nedenler günümüzde peyzaj tasarımlarında doğal bitki türlerini kullanmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında Sivas ilinde doğal olarak yetişen otsu türlerin, peyzaj mimarlığı açısından kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada öncelikle alanda yapılan flora çalışmaları Davis (1965; 1988), Ekim ve Düzenli (1982), Civelek (1986), Çelik ve Yıldız (1991), Civelek (1992), Dönmez (1994), Kurt (1995), Yıldız (1996), Dönmez (1999), Dönmez (2000), Akpulat ve Çelik (2002), Akpulat ve Çelik (2005), Dağ (2007), Özudoğru vd. (2010), Akpulat (2018), Gökteş ve Akpulat (2021) ve daha sonra doğal türlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının araştırıldığı çalışmalar incelenmiştir. Doğal türlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının incelendiği çalışmalar; İzmir ve çevresi yeşil örtüsünde bazı doğal bitki türlerinin saptanması ve peyzaj çalışmalarında kullanım olanakları üzerinde araştırmalar (Bayraktar, 1980), Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesinden bazı doğal bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanılması (Saribaş vd., 2007), Trabzon ve yöresinde yetişen doğal bazı yerörtücü bitkilerin peyzaj mimarlığında değerlendirilmeleri üzerine bir araştırma (Acar, 1997), Tortum Çayı Havzası'nın odunsu bitkilerinin peyzaj mimarlığı açısından fonksiyonel ve estetik amaçlı kullanım olanaklarının belirlenmesi (Irmak ve Yılmaz, 2008), Trabzon ve yakın çevresindeki bazı yayla alanlarındaki alpin bitkiler ve peyzaj mimarlığı çalışmalarında kullanım potansiyelleri (Eroğlu ve Acar, 2009), Karayolu şevlerinde doğal olarak yetişen odunsu bitkilerin kullanım alanlarının irdelenmesi; Erzurum-Uzundere örneği (Yılmaz ve Yılmaz, 2009), Bartın kenti ve yakın çevresinde yetişen bazı doğal bitkilerin kentsel mekanlarda kullanım olanakları (Ekici, 2010), Meyve

özellikli odunsu bitki türlerinin peyzaj amaçlı bitkisel tasarımda kullanılabilme olanakları (Kılıç vd., 2016), Şanlıurfa ili ormanlarının doğal odunsu bitkileri üzerine bir araştırma-park ve bahçe bitkilerinin tespit ve peyzaj değerlerinin belirlenmesi (Aslan ve Akan, 2019), Sivas'ta doğal olarak yetişen bazı odunsu ve çalı türlerinin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının belirlenmesi (Bozkurt, 2021a), Sivas ilinde doğal olarak yetişen bazı geofitlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının incelenmesi (Bozkurt, 2021b), Marmara florasında doğal olarak yetişen bitki türlerinin peyzaj mimarlığında kullanımı "Dört mevsim çiçekli bir bahçe için bitkisel tasarım projesi örneği (Aksoy ve Erken, 2022), Doğal bitki türlerinin kentsel alanlardaki bitkisel tasarımlarda kullanımı (Tırnakçı ve Akıbaşı, 2023) gibi çalışmalardır. Yapılan bu çalışma ile Sivas ilinde daha önce incelenen odunsu ve geofit türlerine ek olarak alanda var olan doğal otsu türlerin peyzaj tasarımlarında kullanıma olasılıkları incelenmiş ve bu türlerin korunması ve çoğaltılmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir.

## 2. Materyal ve yöntem

Bu araştırmanın ana materyalini Sivas ili, uygulanan yöntemlerin temelini ise; Sivas ilinin doğal otsu türleri ve bu türlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının incelenmesi oluşturmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında alanda yapılan flora çalışmaları göz önünde bulundurularak 1027 otsu tür listelenmiş ve bu türlerden 331'nin peyzaj tasarımları açısından uygun türler olabileceği belirlenmiştir. Bu listede alanda yetişen doğal türlerin morfolojisi, bulunduğu yer, çiçek rengi, çiçek mevsimi, kullanım alanı, element ve endemizm durumları incelenmiştir. Daha sonra bu bilgiler doğrultusunda 2021 yılının vejetasyon döneminde (Nisan-Eylül) ilin bazı bölgelerinde (Sivas-Gürün arası, Şarkışla-Gürün arası, Beydağı ve Hezanlı Dağları, Divriği, Kangal, Ulaş) bu türlerin tespitine yönelik yerinde gözlem ve incelemeler yapılarak fotoğraflar çekilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda alanda doğal olarak yetişen otsu türlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanakları 12 kriter açısından değerlendirilmiştir. Bunlar; Saribaş vd. (2007)'nin çalışmalarında belirledikleri "1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak" gibi kriterlerdir. Bu kriterlerden 5 ve 6 ve daha fazla kritere sahip olan türler önem derecelerine göre oluşturulan tabloda açık gri ve koyu gri renge (Açık gri: daha az önemli<Koyu gri: çok önemli) boyanmıştır. Bu taksonların belirlenen kriterler açısından tespitinde ve teşhisinde çeşitli kaynaklardan yararlanılmıştır. Bunlar; TÜBİVES (2021-2023), Flora of Turkey (Davis, 1965; 1988) ve Flowers of Europe (Polunin, 1969) çalışmalarıdır.

### 2.1. Araştırma alanının coğrafi konumu

Sivas ili, İç Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Kızılırmak bölümünde yer alır. 36° ve 39° doğu boylamları ile 38° ve 41° kuzey enlemleri arasında kalan il, 28.488 km<sup>2</sup>'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin toprak bakımından Konya'dan sonra ikinci büyük ilidir (Şekil 1) (Akpulat ve Karakuş, 2019).

## 2.2. Araştırma alanının jeolojisi ve toprak yapısı

Sivas ili İç Anadolu'da, yüksek platolar üzerinde kurulmuş bir il olup kuzeyden, doğudan ve güneydoğudan yüksek dağlarla çevrilidir. Bu dağların arasında yükseltisi fazla olan platolar bulunmaktadır. Kuzeyde ve doğusunda yüksek dağlar yer alırken, güney ve batısında genel olarak ovalar ve platolar yer alır (Ergün, 2008). Sivas'ın %47,6'sı platolarla, %46,2'si dağlarla, %6,2'si ise ovalarla kaplıdır. İl'de ovalar oldukça azdır. Ovalar daha çok vadilerin genişlemesinden meydana gelmiş olup büyük kısmı Kızılırmak Vadisindedir. Ova olarak ilde Gemerek-Şarkışla, Yıldızeli-Suşehri ovaları bulunmaktadır. Sivas ilinin en önemli dağları kuzeyinde yer almakta olup ilin kuzey sınırı ile Kızılırmak arasında kalmaktadır. Başlıcaları: Yıldız Dağı (2537 m), Köse Dağları (3050 m), Kızıldağ (3015 m), Tekeli Dağ (2621 m), Asmalı Dağ (2406 m), Tecer Dağları (2079 m), Yama Çalgal Dağları (2631 m), Hezanlı Dağı (2283 m), Gövdeli Dağı (2719 m), Gürlevik Dağı (2688 m), Bey Dağı (2802 m), Dumanlı Dağı (2374 m), Çengelli Dağ (2596 m), Oyuklu Dağ (2139 m), Karababa Dağı (2235 m) ve Çamlıbel Dağlarıdır (Sivas İl Yıllığı, 2002). Alanın toprak yapısını incelediğimizde araştırma alanının da olduğu İç Anadolu Bölgesinde ormanların büyük ölçüde tahribe uğradığı ve stepe dönüştüğü sahalarda kahverengi topraklar, step-orman geçiş sahalarda kestane renkli topraklar (Mollisol), kuru ve yarı nemli orman sahalarda kahverengi orman toprakları ve geniş yataklı akarsu vadilerinin (Kızılırmak ve kolları vb.) taşkın ovalarında alüvyal topraklar yaygındır (Atalay, 1994).

## 2.3. Araştırma alanının iklimi

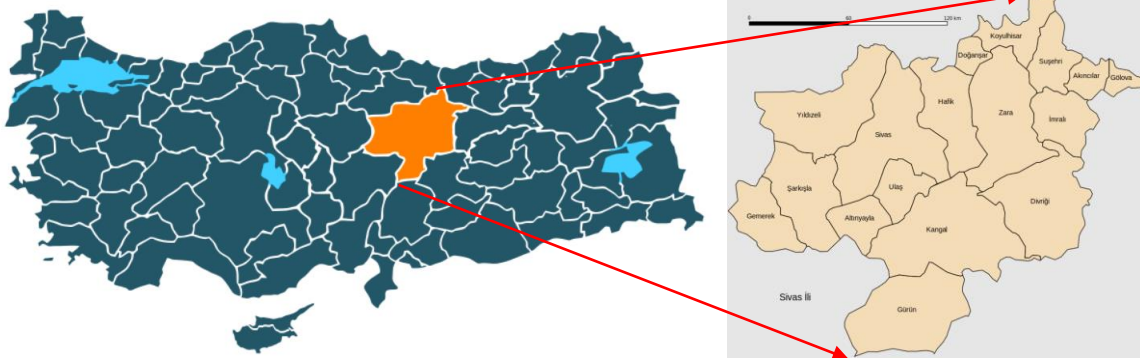
Sivas ilinin büyük bir kesimi yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve karlı geçen karasal İç Anadolu ikliminin etkisi altındadır. Kış ayları dondurucu soğuk, yaz ayları sıcak ve kuraktır. Yaz mevsimi kısa sürelidir. Kış ve yaz mevsimleri arasında sıcaklık farkı büyük olduğu gibi gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı da büyüktür. Yazın 40°C'ye kadar çıkabilen sıcaklıkların, kışın -33°C'ye kadar düştüğü görülmektedir (Akpulat ve Karakuş, 2019).

## 2.4. Araştırma alanının bitki örtüsü

İlin karasal iklim bölgelerinde kısa süreli bitkilere, ayrıca orman ağaçlarından oluşan küçük kümeler rastlanmaktadır. Genellikle karaçam (*Pinus nigra*), kızılçam (*Pinus brutia*) ve ardıç (*Juniperus* sp.) gibi iğne yapraklı ve meşe (*Quercus* sp.) gibi yapraklı ağaçlardan oluşan bu topluluklar, yüzyıl kadar önce tüm bölgeyi kaplayan zengin orman örtüsünün son kalıntıları durumundadır (Sivas İl Yıllığı, 2002). Sivas ili endemik bitki açısından son derece zengindir. İlde yapılan çevreyi ve doğayı korumaya yönelik projeler sonucunda birçok endemik bitki tespit edilmiştir. Bunlardan bazıları *Achillea sintensisii*, *Centaurea sivasica*, *Cousinia sivasica*, *Astragalus ulashensis*, *Salvia vermifolia*, *Helichrysum noeanum*'dur (Envy, 2004). Sivas ili sınırlarında; 443'ü endemik olmak üzere yaklaşık 2000 tohumlu bitki taksonu doğal olarak yetişmektedir (Davis, 1965;1988; Güner vd., 2000). Alanda daha önce yapılan floristik çalışmalar neticesinde Sivas ve çevresinde 105 familya, 544 cins ve 1917 tür, 2067 bitki taksonunun olduğu belirlenmiştir. Bu taksonlardan 177'si endemiktir (Akpulat ve Karakuş, 2019).

## 3. Bulgular

Bu çalışmada Çizelge 1'de listelenen toplam 331 otsu türün peyzaj mimarlığında kullanılabilirliği incelenmiştir. Tespit edilen bitkiler Türkiye'nin flora bölgelerindeki dağılımlarına göre şu şekilde sınıflandırılabilir: 158'i İran-Turan elementi, 22'si Avrupa-Sibirya, 15'i Akdeniz elementi ve 136'sı bilinmeyen türdür. En fazla cins içeren familya Leguminosae (17 cins, 44 tür) en fazla tür içeren familya ise Compositae (14 cins ve 61 tür) familyasıdır. Bu familyaları Labiatae (12 cins ve 35 tür), Boraginaceae (11 cins, 24 tür) ve Scrophulariaceae (6 cins ve 23 tür) familyaları izlemektedir. Araştırılan 331 türden 114'i endemiktir. Peyzaj tasarımlarında yüksek potansiyele sahip koyu gri renge boyanmış 98 türün olduğu, daha az potansiyele sahip açık gri renge boyanmış 102 türün olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Sivas ili ve ilçelerinin haritası (Sivas Haritası, 2021-2023)



Bu türlerden peyzaj tasarımlarında en fazla kullanılma potansiyeli olan endemik türler: *Tchihatchewia isatidea*, *Matthiola anchoniifolia*, *Dianthus zederbaueri*, *Dianthus masmenaeus*, *Gypsophila pinifolia*, *Gypsophila aucheri*, *Gypsophila eriocalyx*, *Hedysarum pestalozzae*, *Anthemis anthemiformis*, *Anthemis sintenisii*, *Anthemis armeniaca*, *Anthemis fumariifolia*, *Anthemis melanoloma*, *Campanula betulifolia*, *Campanula pinnatifida* var. *pinnatifida*, *Campanula strigillosa*, *Campanula scoparia*, *Campanula saxonorum*, *Asyneuma limonifolium* ssp. *pestalozzae*, *Asyneuma linifolium*, *Paracaryum racemosum* var. *racemosum*, *Paracaryum ancyritanum*, *Paracaryum cristatum* ssp. *cristatum*, *Rindera caespitosa*, *Echium orientale*, *Nonea stenosolen*, *Alkanna megacarpa*, *Phlomis oppositiflora*, *Phlomis armeniaca*, *Phlomis physocalyx*, *Phlomis capitata*, *Phlomis sieheana*, *Phlomis linearis*, *Wiedemannia orientalis*, *Origanum acutidens*, *Salvia caespitosa*, *Salvia blepharochlaena*, *Salvia euphratica* var. *euphratica*, *Salvia cryptantha*, *Salvia hypargeia*, *Salvia cyanescens*'dir.

Alanda yer örtücü ve sarılıcı olarak kullanılabilir en önemli türler; *Draba polytricha*, *Herniaria glabra*, *Scleranthus uncinatus*, *Salicornia prostrata*, *Frankenia hirsuta*, *Evax anatolica*, *Convolvulus betonicifolius* ssp. *betonicifolius* gibi türlerdir. Alanda tespit edilen türlerin büyük kısmı kalkerli bir alanda gelişim gösterdiği için kaya bahçeleri için uygun bitkiler olarak tercih edilebilir. Kaya ve su bahçeleri için uygun olan türler; *Rasularia libanotica*, *Sedum* ssp., *Saxifraga* ssp., *Caltha polypetala*, *Potentilla bifurca*, *Potentilla recta*, *Potentilla reptans*, *Agrimonia eupatoria*, *Lythrum salicaria*, *Epilobium minutiflorum*, *Epilobium algidum*, *Parnassia palustris*, *Astrantia maxima*, *Inula salicina*, *Inula acaulis*, *Alisma plantago-aquatica*, *Alisma gramineum*, *Typha shuttleworthii*, *Typha angustifolia*, *Schoenoplectus lacustris* ssp. *tabernaemontani*, *Schoenoplectus litoralis*, *Scirpoides holoschoenus*'dir. Şehir parklarında kullanılabilir ve peyzaj açısından değerli olan türler; *Dianthus* ssp., *Linum mucronatum* ssp. *mucronatum*, *Linum unguiculatum*, *Scutellaria orientalis*, *Pedicularis*

*comosa* var. *sibthorpii*, *Hyoscyamus reticulatus*, *Anchonium elichrysofolium*, *Salvia multicaulis*, *Malva neglecta*, *Teucrium multicaule*, *Haplophyllum telephoides*, *Haplophyllum myrtifolium*, *Sophora alopecuroides* var. *alopecuroides*, *Anthemis* ssp., *Campanula* ssp., *Primula elatior* ssp. *pallasii*, *Primula auriculata*, *Androsace armeniaca* var. *macrantha*, *Androsace villosa*, *Convolvulus pentapetaloides*, *Lamium crinitum*, *Lallemantia* ssp., *Mentha longifolia* var. *typhoides* gibi türlerdir.

Çiçeklenme mevsimi üç aydan daha uzun olan ve peyzaj tasarım kriterlerine göre 5 veya 6 kritere sahip olan türler; *Fumaria asepalae*, *Arabis caucasica*, *Draba polytricha*, *Spergularia media*, *Dianthus crinitus*, *Dianthus masmenaeus*, *Hypericum origanifolium*, *Hypericum thymifolium*, *Malva neglecta*, *Alcea hohenackeri*, *Linum mucronatum* ssp. *mucronatum*, *Sophora alopecuroides* var. *alopecuroides*, *Astragalus ponticus*, *Astragalus lineatus* var. *longidens*, *Astragalus ornithopodioides*, *Astragalus asciocalyx*, *Agrimonia eupatoria*, *Saxifraga cymbalaria* var. *cymbalaria*, *Morina persica* var. *persica*, *Inula salicina*, *Helichrysum chionophilum*, *Anthemis kotschyana*, *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria*, *Achillea biebersteinii*, *Tripleurospermum transcaasicum*, *Tragopogon aureus*, *Pilosella hoppeana*, *Campanula glomerata*, *Campanula betulifolia*, *Campanula scoparia*, *Primula auriculata*, *Androsace villosa*, *Glaux maritima*, *Cerintho minor*, *Hyoscyamus reticulatus*, *Pedicularis comosa* var. *sibthorpii*, *Teucrium multicaule*, *Teucrium orientale* var. *orientale*, *Wiedemannia orientalis*, *Lallemantia iberica*, *Mentha longifolia* var. *typhoides*, *Ziziphora capitata*, *Salvia viridis*, *Salvia cyanescens*, *Limonium gmelinii*'dir.

Peyzaj mimari tasarım ve planlamasında bitki materyalinin doğru seçimi büyük önem taşımaktadır. Yerel bitkilerin işlevsel olarak uygulanması, yerel koşullara daha iyi uyum sağlama gibi ek olarak maliyetleri düşük tutan birçok avantaja sahip olabilir. Bu nedenle Türkiye'nin birçok bölgesinde peyzaj tasarım uygulamalarında doğal türler tercih edilmelidir.

Cizelge 1.Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı

| Familiya      | Tür                               | Bulunduğu yer   | Çiçek rengi | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element  | End. |
|---------------|-----------------------------------|-----------------|-------------|-------------------------|--------------------|----------|------|
| EQUISETACEAE  | <i>Equisetum ramosissimum</i>     | Sivas-Bolucan   | Bilinmiyor  | Bilinmiyor              | 2,7,10             | -        | -    |
|               | <i>Nigella segetalis</i>          | Sivas-Gürün     | Beyaz-Mor   | 5-7                     | 1,5,6,7,8          | -        | -    |
| RANUNCULACEAE | <i>Caltha polypetala</i>          | Sivas-Yıldız D. | Sarı        | 4-7                     | 3,5,7,10           | -        | -    |
|               | <i>Consolida scleroclada</i>      | Sivas-Divriği   | Mor         | 6-7                     | 2,5,7,10           | -        | -    |
|               | <i>Consolida orientalis</i>       | Sivas-Suşehri   | Mor         | 6-7                     | 2,5,7              | -        | -    |
|               | <i>Glaucium corniculatum</i>      | Sivas-Gürün     | Kırmızı     | 6-7                     | 1,5,6,7,10         | -        | -    |
| PAPAVERACEAE  | <i>Glaucium acutidentatum</i>     | Sivas-Gürün     | Kırmızı     | 5-6                     | 1,5,6,7,10         | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Roemeria hybrida</i>           | Sivas-Suşehri   | Mor         | 4-6                     | 1,5,6,7,10         | -        | -    |
|               | <i>Papaver tauricola</i>          | Sivas-Gürün     | Kırmızı     | 4-6                     | 1,5,6,7,10         | -        | -    |
|               | <i>Papaver trinifolium</i>        | Sivas-Akdağ     | Kırmızı     | 6-7                     | 1,5,6,7,10         | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Fumaria asepalae</i>           | Sivas           | Beyaz-Mor   | 4-8                     | 1,2,6,7,10         | İr.-Tur. | -    |
|               | <i>Aethionema lepidioides</i>     | Sivas-Gürün     | Beyaz-Pembe | 5-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Aethionema cordatum</i>        | Sivas-Kangal    | Pembe       | 5-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | -    |
|               | <i>Aethionema speciosum</i>       | Sivas-Zara      | Pembe       | 5-7                     | 1,2,5,7            | D.Akd.   | End. |
|               | <i>Aethionema caespitosum</i>     | Sivas-Beydağı   | Beyaz-Pembe | 5-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Aethionema membranaceum</i>    | Sivas-Şarkışla  | Pembe       | 5-7                     | 1,3,5,7            | İr.-Tur. | -    |
| CRUCIFERA     | <i>Aethionema armenum</i>         | Sivas-Gürün     | Beyaz       | 5-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | -    |
|               | <i>Arabis caucasica</i>           | Sivas           | Beyaz       | 5-8                     | 1,2,5,7,10         | -        | -    |
|               | <i>Tchihatchewia isatidea</i>     | Sivas           | Pembe-Mor   | 6                       | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Physoptychis haussknechtii</i> | Sivas-Ulaş      | Pembe-Mor   | Bilinmiyor              | 1,2,6,7            | İr.-Tur. | End. |
|               | <i>Draba polytricha</i>           | Sivas-Suşehri   | Sarı        | 4-7                     | 1,2,5,7,9          | -        | -    |
|               | <i>Arabis caucasica</i>           | Sivas           | Beyaz       | 8                       | 2,5,6,7,10         | -        | -    |
|               | <i>Capella bursa-pastoris</i>     | Sivas-Gürün     | Beyaz       | 3-9                     | 7                  | -        | -    |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: turmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

Çizelge 1. Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı (devamı)

| Familiya                                   | Tür   | Bulunduğu yer               | Çiçek rengi | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element       | End.     |      |
|--|---|-----------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|---------------|----------|------|
| CRUCIFERA                                  | <i>Cardamine uliginosa</i>                      | Sivas-Yıldız D.             | Beyaz       | 3-8                     | 1,2,6,10           | -             | -        |      |
|  | <i>Aubrieta canescens</i>                       | Gürün-Kangal                | Mor         | 4-7                     | 1,2,5,7,10         | -             | End.     |      |
|  | <i>Matthiola anthoniifolia</i>                  | Sivas-Gürün                 | Mavi, Pembe | 5-7                     | 2,4,5,7,8,10       | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Hesperis bicuspidata</i>                     | Sivas-Gürün                 | Pembe-Mor   | 5-7                     | 2,6                | -             | -        |      |
|  | <i>Anchonium elichrysofolium</i>                | Sivas-Ulaş                  | Sarı        | 6                       | 2,5,6,7,10,11      | -             | -        |      |
|  | <i>Erysimum alpestre</i>                        | Sivas                       | Sarı        | 4-7                     | 2,6,7,10           | -             | -        |      |
|  | <i>Erysimum thyrsoideum</i>                     | Sivas-Şarkışla              | Sarı        | 4-7                     | 2,6,7,10           | -             | End.     |      |
|  | <i>Erysimum uncinatifolium</i>                  | Sivas-Gürün                 | Sarı        | 5                       | 2,6,7,10           | -             | End.     |      |
|  | <i>Areneria sivasica</i>                        | Gürün-Gökpinar              | Beyaz       | 8-9                     | 2,5,7,11           | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Minuartia hirsuta</i>                        | Sivas-Çamlıbel              | Beyaz       | 5-7                     | 2,5,7,11           | -             | -        |      |
|  | <i>Minuartia dianthifolia</i>                   | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 7-8                     | 2,5,7,11           | -             | End.     |      |
|  | <i>Minuartia juniperina</i>                     | Sivas-Yıldız D.             | Beyaz       | 6-7                     | 2,5,7,11           | -             | -        |      |
|  | <i>Minuartia rimarum</i>                        | Sivas-Tecer D.              | Beyaz       | 7-8                     | 2,5,7,11           | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Minuartia anatolica var. lanuginosa</i>      | Sivas-Gürün-Böğrüdelik      | Beyaz       | 5-6                     | 2,5,7,11           | İr.-Tur.      | -        |      |
| CARYOPHYLLACEAE                            | <i>Minuartia erythrosepala</i>                  | Sivas-Zara-Şerefiye         | Beyaz       | 6-7                     | 2,5,7,11           | -             | -        |      |
|  | <i>Minuartia corymbulosa</i>                    | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | Bilinmiyor              | 2,5,7,11           | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Stellaria holostea</i>                       | Sivas-Şerefiye              | Beyaz       | 3-6                     | 5,6,7,10           | Avr.-Sib.     | -        |      |
|  | <i>Silene marschallii</i>                       | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 6-7                     | 6,7,10,11          | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Silene capitellata</i>                       | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 5-7                     | 6,7,10,11          | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Silene chlorifolia</i>                       | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 5-7                     | 6,7,10,11          | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Silene stenobotrys</i>                       | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 5-7                     | 6,7,10,11          | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Silene montbretiana</i>                      | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 5-7                     | 6,7,10,11          | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Cerastium purpurascens</i>                   | Sivas-Zara-Beydağı          | Beyaz       | 6-8                     | 2,6,7              | -             | -        |      |
|  | <i>Spergularia media</i>                        | Sivas-Zara                  | Beyaz       | 5-8                     | 2,5,6,7,9          | -             | -        |      |
|  | <i>Dianthus micranthus</i>                      | Sivas-Gürün                 | Beyaz,Pembe | 6-7                     | 2,5,7,8,10,11      | -             | -        |      |
|  | <i>Dianthus zederbaueri</i>                     | Sivas-Ulaş                  | Pembe       | 6-7                     | 2,5,7,8,10,11      | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Dianthus crinitus</i>                        | Sivas-Tecer D.              | Beyaz       | 5-8                     | 2,5,7,8,10,11      | -             | -        |      |
|  | <i>Dianthus masmenaeus</i>                      | Sivas-Suşehri               | Pembe       | 5-8                     | 2,5,7,8,10,11      | İr.-Tur.      | End.     |      |
| ILLECEBRACEAE                              | <i>Saponaria glutinosa</i>                      | Sivas-Zara                  | Pembe       | 5-7                     | 1,2,5,6,7          | -             | -        |      |
|  | <i>Saponaria prostrata</i>                      | Sivas-Şarkışla              | Pembe       | 4-7                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Gypsophila pinifolia</i>                     | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 7-8                     | 2,5,6,10,11        | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Gypsophila aucheri</i>                       | Sivas-Divrği                | Pembe       | 6-7                     | 2,5,6,10,11        | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Gypsophila eriocalyx</i>                     | Sivas                       | Beyaz       | 6-8                     | 2,5,6,10,11        | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Herniaria glabra</i>                         | Sivas-Akdağ                 | Bilinmiyor  | 5-8                     | 2,5,7,9            | -             | -        |      |
|  | <i>Paronychia arabica ssp. euphratica</i>       | Sivas-Göl D.                | Beyaz       | 6                       | 2,7,9              | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Paronychia cataonica</i>                     | Sivas-Gürün                 | Beyaz       | 6-7                     | 2,7,9              | -             | End.     |      |
|  | <i>Paronychia beauverdii</i>                    | Sivas                       | Beyaz       | 6-8                     | 2,7,9              | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Paronychia amani var. minutiflora</i>        | Sivas                       | Beyaz       | 6-7                     | 2,7,9              | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Scleranthus uncinatus</i>                    | Sivas-Bey D.                | Beyaz       | 5-8                     | 2,7,9              | -             | -        |      |
|  | CHENOPODIACEAE                                  | <i>Salicornia prostrata</i> | Sivas-Zara  | Bilinmiyor              | 7-10               | 2,7,9         | İr.-Tur. | End. |
|  | FRANKENIACEAE                                   | <i>Frankenia hirsuta</i>    | Sivas-Hafik | Pembe                   | ?                  | 1,2,5,7,9     | -        | -    |
|  | GUTTIFERAE                                      | <i>Hypericum lydiun</i>     | Sivas       | Sarı                    | 5-7                | 2,5,6,7,10,11 | -        | -    |
| <i>Hypericum thymifolium</i>               |   | Sivas-Gürün                 | Sarı        | 5-10                    | 2,5,6,7,10,11      | D.Akd.        | -        |      |
| <i>Hypericum scabrum</i>                   |   | Sivas-Zara                  | Sarı        | 5-8                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur.      | -        |      |
| <i>Hypericum venustum</i>                  |   | Sivas-Yıldız D.-Akdağ       | Sarı        | 7-8                     | 2,5,6,7,10,11      | -             | -        |      |
| <i>Hypericum linarioides</i>               |   | Sivas-Zara-Şerefiye         | Sarı        | 6-8                     | 2,5,6,7,10,11      | -             | -        |      |
| <i>Hypericum origanifolium</i>             |   | Sivas-Akdağ                 | Sarı        | 5-8                     | 2,5,6,7,10,11      | -             | -        |      |
| <i>Hypericum davisii</i>                   |   | Sivas-Havaalanı yolu        | Sarı        | 6-7                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur.      | -        |      |
| MALVACEAE                                  | <i>Malva neglecta</i>                           | Sivas-Gemerek               | Pembe       | 5-8                     | 5,6,7,10,11        | -             | -        |      |
|  | <i>Alcea hohenackeri</i>                        | Sivas                       | Pembe       | 5-8                     | 5,6,7,10,11        | -             | -        |      |
| LINACEAE                                   | <i>Linum mucronatum ssp. mucronatum</i>         | Sivas-Divrği-Gürün          | Sarı        | 4-6                     | 1,2,5,7,11         | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Linum unguiculatum</i>                       | Sivas-Divrği-Zara           | Mor         | 6                       | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
| RUTACEAE                                   | <i>Haplophyllum telephoides</i>                 | Sivas-Gemerek               | Sarı        | 5-6                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Haplophyllum myrtifolium</i>                 | Sivas-Gürün                 | Sarı        | 5-6                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
| LEGUMINOSAE                                | <i>Sophora alopecuroides var. alopecuroides</i> | Sivas-Deveci-Hafik-Zara     | Sarı, Beyaz | 4-7                     | 1,3,5,6,7,8,10,11  | -             | -        |      |
|  | <i>Astragalus amasiensis</i>                    | Sivas-Şerefiye-Zara         | Pembe, Mor  | 6-7                     | 1,2,5,7            | -             | End.     |      |
|  | <i>Astragalus densifolius</i>                   | Sivas                       | Pembe, Mor  | 6-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus ovatus</i>                        | Sivas                       | Pembe,      | 6                       | 2,7,10             | -             | End.     |      |
|  | <i>Astragalus saganlugensis</i>                 | Sivas-Kangal                | Mor         | 6-8                     | 2,7,10             | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Astragalus ponticus</i>                      | Sivas-Şarkışla              | Sarı        | 5-8                     | 5,6,7,10,11        | -             | -        |      |
|  | <i>Astragalus dipsaceus</i>                     | Sivas-Kızırmak              | Sarı        | 6                       | 5,6,7,10,11        | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus lineatus var. longidens</i>       | Sivas-Gürün                 | Mor         | 5-9                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Astragalus odoratus</i>                      | Sivas-Zara                  | Beyaz       | 6-7                     | 1,5,7,8,10         | -             | -        |      |
|  | <i>Astragalus ornithopodioides</i>              | Sivas-Zara-Hafik            | Pembe, Mor  | 3-7                     | 1,2,7,9,11         | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Astragalus ascioacalyx</i>                   | Şerefiye-Suşehri-Zara       | Mor         | 3-7                     | 1,2,6,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus xylobasis</i>                     | Sivas-Şarkışla              | Mor         | 5-7                     | 1,2,6,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus cylindraceus</i>                  | Sivas-Yıldız D.             | Sarı        | 5-7                     | 1,2,6,7,10         | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus hirsutus</i>                      | Sivas                       | Sarı        | 6-7                     | 1,2,5,7,10         | -             | End.     |      |
|  | <i>Astragalus fragrans</i>                      | Sivas-Yıldız                | Sarı        | 6-7                     | 1,2,6,7            | İr.-Tur.      | -        |      |
|  | <i>Astragalus scabrifolius</i>                  | Sivas-Gürün                 | Sarı        | 6                       | 1,2,6,7            | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Astragalus campylosema</i>                   | Sivas-Gemerek               | Sarı        | 5-6                     | 1,2,5,7,10,11      | İr.-Tur.      | End.     |      |
|  | <i>Glycyrrhiza glabra var. glandulifera</i>     | Sivas-Altıntepe             | Pembe, Mor  | 6-7                     | 5,6,7,10,11        | -             | -        |      |
|  | <i>Glycyrrhiza echinata</i>                     | Sivas                       | Pembe       | 6-7                     | 5,6,7,10,11        | D.Akd.        | -        |      |
|  | <i>Cicer incisum</i>                            | Sivas-Ulaş                  | Pembe       | 7-8                     | 1,2,5,7,9          | -             | -        |      |
|  | <i>Vicia cracca ssp. stenophylla</i>            | Sivas-Zara                  | Pembe, Mor  | 5-7                     | 5,6,7,10,11        | -             | -        |      |
| <i>Lathyrus laxiflorus ssp. laxiflorus</i> | Sivas-Şerefiye-Zara                             | Pembe, Mor                  | 5-7         | 1,5,7,8                 | D.Akd.             | End.          |          |      |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

Çizelge 1. Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı (devamı)

| Familiya      | Tür  | Bulunduğu yer            | Çiçek rengi   | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element   | End. |
|---------------|--|--------------------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----------|------|
|               | <i>Trigonella brachycarpa</i>                      | Sivas                    | Sarı          | 4-6                     | 1,2,7              | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Trigonella coeruleascens</i>                    | Sivas- Gemerek           | Mor           | 4-7                     | 1,2,7              | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Medicago varia</i>                              | Sivas-Yazıfatıhi         | Mor           | 5-8                     | 6,7                | -         | -    |
|               | <i>Medicago falcata</i>                            | Sivas                    | Sarı          | 5-8                     | 6,7                | -         | -    |
|               | <i>Dorycnium pentaphyllum</i>                      | Sivas-Ulaş               | Beyaz         | 5-8                     | 6,7,8,10           | -         | -    |
|               | <i>Lotus corniculatus</i> var. <i>tenuifolius</i>  | Sivas-Gürün              | Sarı          | 4-9                     | 1,3,7              | -         | -    |
|               | <i>Lotus aegaeus</i>                               | Sivas                    | Sarı          | 5-7                     | 1,3,7              | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Tetragonolobus maritimus</i>                    | Sivas-Suşehri            | Sarı          | 6-7                     | 1,3,7              | -         | -    |
|               | <i>Anthyllis vulneraria</i> ssp. <i>polyphylla</i> | Sivas-Yıldızeli          | Sarı          | 7-8                     | 1,5,6,7,8          | Avr.-Sib. | -    |
|               | <i>Coronilla orientalis</i>                        | Sivas-Zara               | Sarı          | 4-7                     | 1,6,7,10           | -         | -    |
| LEGUMINOSAE   | <i>Hedysarum varium</i>                            | Sivas                    | Pembe         | 6-7                     | 1,2,5,6,7,8        | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Hedysarum pestalozzae</i>                       | Sivas-Ulaş               | Pembe         | 5-7                     | 1,2,5,6,7,8        | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Hedysarum nitidum</i>                           | Sivas-Gürün              | Sarı          | 6-7                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Hedysarum pogonocarpum</i>                      | Sivas-Gürün              | Sarı, Pembe   | 4-6                     | 1,2,6,7,8          | -         | End. |
|               | <i>Hedysarum candidissimum</i>                     | Sivas-Gürün              | Pembe         | 6-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Onobrychis stenostachya</i> ssp. <i>krausei</i> | Sivas                    | Pembe         | 6                       | 5,6,7,10,11        | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Onobrychis armena</i>                           | Sivas-Kangal             | Pembe         | 5-8                     | 5,6,7,10,11        | -         | -    |
|               | <i>Onobrychis argyrea</i>                          | Sivas-Gürün              | Sarı          | 6                       | 5,6,7,10,11        | D.Akd. ?  | End. |
|               | <i>Onobrychis tomentosifolia</i>                   | Sivas- Hafik             | Sarı, Kırmızı | 4-6                     | 5,6,7,10,11        | -         | End. |
|               | <i>Ebenus haussknechtii</i>                        | Sivas- Divriği           | Pembe         | 5-7                     | 1,2,7,8            | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Ebenus depressa</i>                             | Sivas- Gürün             | Pembe         | 6-7                     | 1,2,7,8            | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Ebenus laguroides</i> var. <i>laguroides</i>    | Sivas-Gürün              | Pembe         | 6-8                     | 1,2,7,8            | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Filipendula vulgaris</i>                        | Sivas-Suşehri            | Beyaz         | 5-7                     | 5,6,7,10,11        | Avr.-Sib. | -    |
|               | <i>Potentilla bifurca</i>                          | Sivas-Zara               | Sarı          | 5-9                     | 1,3,5,7            | -         | -    |
|               | <i>Potentilla meyeri</i>                           | Sivas-Yıldız D.          | Sarı          | 6-8                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Potentilla recta</i>                            | Sivas-Divriği            | Sarı          | 5-7                     | 1,3,5,7            | -         | -    |
|               | <i>Potentilla argaea</i>                           | Sivas                    | Sarı          | 5-9                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Potentilla humifusa</i>                         | Sivas-Çamlıbel D.        | Sarı          | 4-7                     | 1,2,5,7            | Avr.-Sib. | -    |
|               | <i>Potentilla opaca</i>                            | Sivas-Çamlıbel D.        | Sarı          | 4-7                     | 1,2,5,7            | -         | -    |
|               | <i>Potentilla reptans</i>                          | Sivas-Gürün              | Sarı          | 5-8                     | 1,3,5,7            | -         | -    |
|               | <i>Agrimonia eupatoria</i>                         | Sivas                    | Sarı          | 5-9                     | 1,3,5,7,10,11      | -         | -    |
| LYTHRACEAE    | <i>Lythrum salicaria</i>                           | Sivas- Divriği           | Pembe         | 6-8                     | 1,3,5,7,8,10       | Avr.-Sib. | -    |
| ONOGRACEAE    | <i>Epilobium minutiflorum</i>                      | Sivas                    | Pembe         | 6-8                     | 1,3,5,7,8,10       | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Epilobium algidum</i>                           | Sivas-Suşehri            | Pembe         | 7-8                     | 1,3,5,7,8,10       | -         | -    |
|               | <i>Rasularia libanotica</i>                        | Sivas-Kangal             | Beyaz         | 4-7                     | 1,2,4,5,7          | D.Akd.    | -    |
|               | <i>Sedum obtusifolium</i>                          | Sivas-Deli D.            | Pembe         | 6-8                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Sedum acre</i>                                  | Sivas                    | Sarı          | 6-7                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Sedum alba</i>                                  | Sivas-Zara               | Beyaz         | 6-9                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Sedum subulatum</i>                             | Sivas-Gürün              | Beyaz         | 6-8                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Sedum album</i>                                 | Sivas-Yıldız D.          | Beyaz         | 6-9                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Prometheum sempervivoides</i>                   | Sivas- Yıldız Dağları    | Kırmızı       | 6-8                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Saxifraga kotschy</i>                           | Sivas-Gürün              | Sarı          | 6-9                     | 1,2,4,5,7          | -         | -    |
|               | <i>Saxifraga moschata</i>                          | Sivas                    | Sarı          | 6-8                     | 1,2,4,5,7          | Avr.-Sib. | -    |
|               | <i>Saxifraga cymbalaria</i> var. <i>cymbalaria</i> | Sivas-Yıldız D.          | Sarı          | 3-9                     | 1,3,4,5,7          | -         | -    |
| PARNASSIACEAE | <i>Parnassia palustris</i>                         | Sivas-Yıldız D.          | Beyaz         | 7-9                     | 1,3,5,7,8          | -         | -    |
| UMBELLIFERAE  | <i>Astrantia maxima</i>                            | Sivas                    | Pembe         | 6-7                     | 5,6,7,10,11        | Akd.      | -    |
|               | <i>Actinolema macrolema</i>                        | Sivas-Zara               | Beyaz         | 5-6                     | 1,2,9              | İr.-Tur.  | -    |
| VALERIANACEAE | <i>Valeriana leucophaea</i>                        | Sivas-Gürün-Beydağı-Zara | Pembe         | 5-7                     | 1,5,7,8,10         | -         | -    |
| MORINACEAE    | <i>Morina persica</i> var. <i>persica</i>          | Sivas                    | Beyaz,Pembe   | 5-8                     | 1,2,5,6,7,10,11    | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Scabiosa pseudograminifolia</i>                 | Sivas-Gürün-Kangal       | Pembe         | 6-8                     | 1,5,6,7            | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Scabiosa sicula</i>                             | Sivas                    | Pembe         | 4-7                     | 1,5,6,7            | D.Akd.    | -    |
|               | <i>Scabiosa calcephala</i>                         | Sivas-Divriği            | Pembe         | 4-7                     | 1,5,6,7            | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Scabiosa rotata</i>                             | Sivas-Gürün              | Pembe         | 5-7                     | 1,5,6,7            | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Inula salicina</i>                              | Sivas-Delidağ            | Sarı          | 5-9                     | 3,5,6,7,10         | Avr.-Sib. | -    |
|               | <i>Inula acaulis</i>                               | Sivas                    | Sarı          | 7-8                     | 3,5,6,7,10         | -         | -    |
|               | <i>Inula montbretiana</i>                          | Sivas-Yıldız D.          | Sarı          | 6-8                     | 1,5,6,7,10         | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Inula thapsoides</i>                            | Sivas                    | Sarı          | 7-8                     | 1,5,6,7,10         | -         | -    |
|               | <i>Inula aschersoniana</i>                         | Sivas-Gürün- Divriği     | Sarı          | 6-8                     | 2,5,6,7,10         | -         | -    |
|               | <i>Helichrysum noeanum</i>                         | Sivas-Şarkışla           | Sarı          | 6-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Helichrysum chionophilum</i>                    | Sivas- Gürün-Gökpınar    | Sarı          | 5-10                    | 1,2,6,7,8          | -         | End. |
|               | <i>Helichrysum plicatum</i>                        | Sivas-Yıldız D.          | Sarı          | 6-8                     | 1,2,6,7,8          | -         | -    |
|               | <i>Helichrysum armenium</i> ssp. <i>armenium</i>   | Sivas                    | Sarı          | 6-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur.  | -    |
|               | <i>Helichrysum arenarium</i> ssp. <i>aucheri</i>   | Sivas                    | Sarı          | 5-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Evax anatolica</i>                              | Sivas-Kızıl D.           | Sarı          | 6-7                     | 1,7,9              | İr.-Tur.  | -    |
| COMPOSITAE    | <i>Erigeron caucasicus</i>                         | Sivas-Yıldız Dağları     | Pembe         | 6-8                     | 1,2,5,6,7,10       | -         | -    |
|               | <i>Anthemis cretica</i>                            | Sivas-Zara-Ulaş          | Beyaz         | 5-6                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | -    |
|               | <i>Anthemis anthemiformis</i>                      | Sivas-Kangal             | Beyaz         | 6-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | End. |
|               | <i>Anthemis kotschyana</i>                         | Sivas-Gürün              | Sarı          | 5-9                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | -    |
|               | <i>Anthemis sintenisii</i>                         | Sivas-Şarkışla           | Beyaz         | 5-7                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Anthemis armeniaca</i>                          | Sivas-Gürün              | Beyaz         | 5-6                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Anthemis fumariifolia</i>                       | Sivas-Divriği            | Beyaz         | 5-6                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.  | End. |
|               | <i>Anthemis tinctoria</i> var. <i>tinctoria</i>    | Sivas- Suşehri-Zara      | Sarı          | 5-9                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | -    |
|               | <i>Anthemis melanoloma</i>                         | Sivas-Yıldızeli          | Beyaz         | 7-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | End. |
|               | <i>Anthemis coelopoda</i> var. <i>bourgaei</i>     | Sivas- Divriği           | Beyaz         | 5-7                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | -    |
|               | <i>Anthemis austriaca</i>                          | Sivas-Suşehri            | Beyaz         | 5-6                     | 1,2,5,7,8,10       | -         | -    |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

Çizelge 1. Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı (devamı)

| Familiya   | Tür  | Bulunduğu yer  | Çiçek rengi               | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element      | End.     |      |
|--|--|--|---------------------------|-------------------------|--------------------|--------------|----------|------|
| COMPOSITAE   | <i>Achillea sipikorensis</i>                                 | Sivas-Gürün  | Beyaz                     | 6-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea wilhelmii</i>                                    | Sivas-Zara   | Sarı                      | 5-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Achillea schischkini</i>                                  | Sivas-Şerefiye                                       | Sarı                      | 5-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea lycanica</i>                                     | Sivas-Ulaş   | Beyaz                     | 6-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea phrygia</i>                                      | Sivas-Gürün  | Sarı                      | 5-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea teretifolia</i>                                  | Sivas-Şerefiye-Zara                                  | Beyaz                     | 6-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea sintensis</i>                                    | Sivas-Hafik  | Beyaz                     | 5-7                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea gonioccephala</i>                                | Sivas-Divriği  | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Achillea setacea</i>                                      | Sivas- Şuşehri                                       | Beyaz                     | 5-8                     | 1,2,5,7,10         | Avr.-Sib.    | -        |      |
|  | <i>Achillea kotschyi</i> ssp. <i>kotschyi</i>                | Sivas-Yıldızeli-Çamlıbel                             | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,7,10         | -            | -        |      |
|  | <i>Achillea nobilis</i> ssp. <i>neilreichii</i>              | Sivas-Çamlıbel D.                                    | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,7,10         | Avr.-Sib.    | -        |      |
|  | <i>Achillea biebersteinii</i>                                | Sivas  | Sarı                      | 5-9                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Tanacetum cilicium</i>                                    | Sivas-Şerefiye                                       | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | D.Akd.       | -        |      |
|  | <i>Tanacetum corymbosum</i>                                  | Sivas-Yıldız D.                                      | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | -            | -        |      |
|  | <i>Tanacetum albipannosum</i>                                | Sivas-Şuşehri  | Beyaz                     | 6-7                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Tanacetum nitens</i>                                      | Sivas-Yıldız D.                                      | Sarı                      | 6-7                     | 1,2,5,6,7          | -            | End.     |      |
|  | <i>Tanacetum haussknechtii</i>                               | Sivas-Akdağ  | Beyaz                     | 6                       | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Tanacetum densum</i> ssp. <i>sivasicum</i>                | Sivas- Gürün-Gökpunar                                | Sarı                      | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Tanacetum vulgare</i>                                     | Sivas-Deli D.  | Sarı                      | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | -            | -        |      |
|  | <i>Tanacetum argyrophyllum</i> var. <i>argyrophyllum</i>     | Sivas-Şerefiye-Zara                                  | Sarı                      | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Tanacetum argenteum</i> ssp. <i>canum</i>                 | Sivas-Divriği  | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum oreades</i>                              | Sivas-Beydağı-Zara                                   | Beyaz                     | 3-8                     | 1,2,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum elongatum</i>                            | Sivas-Şerefiye-Zara                                  | Beyaz                     | 6-7                     | 1,2,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum sevanense</i>                            | Sivas-Divriği  | Beyaz                     | 6-7                     | 1,3,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum callosum</i>                             | Sivas-Gürün  | Beyaz                     | 6-8                     | 1,2,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum transcaucasicum</i>                      | Sivas-Gürün  | Beyaz                     | 5-9                     | 1,3,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Tripleurospermum decipiens</i>                            | Sivas-Gürün-Gökpunar                                 | Sarı                      | 5-8                     | 1,2,5,6,7,10       | -            | -        |      |
|  | <i>Scorzonera latifolia</i> var. <i>latifolia</i>            | Sivas-Divriği  | Sarı                      | 7                       | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Scorzonera tomentosa</i>                                  | Sivas-Akdağ  | Sarı                      | 6-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Scorzonera acantholimon</i>                               | Sivas-Divriği  | Sarı                      | 7-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Tragopogon longirostris</i>                               | Sivas-Şerefiye-Zara                                  | Pembe                     | 4-7                     | 1,2,5,6,7          | -            | -        |      |
|  | <i>Tragopogon colaratus</i>                                  | Sivas-Zara   | Pembe                     | 5-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Tragopogon latifolius</i>                                 | Sivas-Gürün  | Sarı                      | 5-7                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Tragopogon buphthalmoides</i> var. <i>buphthalmoides</i>  | Sivas-Divriği-Zara                                   | Sarı                      | 5-8                     | 1,2,5,6,7          | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Tragopogon aureus</i>                                     | Sivas-Gürün  | Sarı                      | 6-9                     | 1,2,5,6,7          | -            | End.     |      |
|  | <i>Pilosella hoppeana</i>                                    | Sivas-Divriği  | Sarı                      | 5-10                    | 1,2,5,6,7          | -            | -        |      |
|  | <i>Cicerbita mulgedioides</i>                                | Sivas-Zara   | Pembe, Mor                | 6-9                     | 5,6,7,10           | -            | -        |      |
|  | <i>Taraxacum bessarabicum</i>                                | Sivas-Kangal   | Sarı                      | 7-10                    | 1,6,7              | -            | -        |      |
|  | <i>Taraxacum serotinum</i>                                   | Sivas-Yıldız D.                                      | Sarı                      | 6-9                     | 1,6,7              | -            | -        |      |
|  | CAMPANULACEAE  | <i>Campanula rapunculoides</i>                       | Sivas                     | Mor                     | 7-9                | 1,2,5,7,8,10 | Avr.-Sib | -    |
|  |  | <i>Campanula glomerata</i>                           | Sivas-Yıldız D.           | Mor                     | 6-9                | 1,2,5,7,8,10 | Avr.-Sib | -    |
|  |  | <i>Campanula involucreta</i>                         | Sivas-Yıldız- Çamlıbel D. | Mor                     | 5-7                | 1,2,5,7,8,10 | İr.-Tur. | -    |
|  |  | <i>Campanula betulifolia</i>                         | Sivas                     | Beyaz                   | 5-9                | 1,2,5,7,8,10 | -        | End. |
|  |  | <i>Campanula pinnatifida</i> var. <i>pinnatifida</i> | Sivas-Kangal-Gürün        | Mor                     | 6-7                | 1,2,5,7,8,10 | İr.-Tur. | End. |
|  |  | <i>Campanula strigillosa</i>                         | Sivas                     | Mor                     | 6-8                | 1,2,5,7,8,10 | D.Akd.   | End. |
| <i>Campanula tridentata</i>                          |  | Sivas-Yıldız D.                                      | Mor                       | 5-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -            | -        |      |
| <i>Campanula scoparia</i>                            |  | Sivas  | Mor                       | 6-9                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.     | End.     |      |
| <i>Campanula saxonorum</i>                           |  | Sivas-Divriği  | Mor                       | 5-7                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.     | End.     |      |
| <i>Campanula stevenii</i>                            |  | Sivas-Kangal   | Mor                       | 6-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -            | -        |      |
| <i>Asyneuma amplexicaule</i>                         |  | Sivas- Yıldız D.- Divriği                            | Mor                       | 6-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -            | -        |      |
| <i>Asyneuma limonifolium</i> ssp. <i>pestalozzae</i> |  | Sivas-Yıldız D.                                      | Mor                       | 6-7                     | 1,2,5,7,8,10       | -            | End.     |      |
| <i>Asyneuma lobelioides</i>                          | Sivas- Zara  | Mor  | 6-8                       | 1,2,5,7,8,10            | İr.-Tur.           | -            |          |      |
| <i>Asyneuma linifolium</i>                           | Sivas-Kangal   | Mor  | 6                         | 1,2,5,7,8,10            | D.Akd.             | End.         |          |      |
| <i>Asyneuma rigidum</i> ssp. <i>rigidum</i>          | Sivas-Zara-Şerefiye  | Mor  | 6-8                       | 1,2,5,7,8,10            | İr.-Tur.           | -            |          |      |
| <i>Asyneuma virgatum</i>                             | Sivas  | Mor  | 5-7                       | 1,2,5,7,8,10            | -                  | -            |          |      |
| PRIMULACEAE  | <i>Primula elatior</i> ssp. <i>pallasii</i>                  | Sivas-Çamlıbel D.                                    | Sarı                      | 5-7                     | 1,4,5,7,8,10       | Avr.-Sib     | -        |      |
|  | <i>Primula auriculata</i>                                    | Sivas-Yıldızköy                                      | Pembe                     | 5-8                     | 1,5,7,8,10         | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Androsace armeniaca</i> var. <i>macrantha</i>             | Sivas-Zara-Şerefiye                                  | Beyaz                     | 5-7                     | 1,5,7,8,10         | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Androsace villosa</i>                                     | Sivas-Gürün  | Beyaz,Pembe               | 5-9                     | 1,5,7,8,10         | Avr.-Sib     | -        |      |
| GENTIANACEAE   | <i>Glaux maritima</i>  | Sivas-Hafik  | Beyaz,Pembe               | 5-8                     | 1,2,5,7,11         | -            | -        |      |
|  | <i>Centaurium erythraea</i>                                  | Sivas-Yıldız D.                                      | Pembe                     | 5-7                     | 1,2,5,7,10         | -            | -        |      |
| CONVOLVULACEAE                                       | <i>Gentiana olivieri</i>                                     | Sivas- Zara-Hafik                                    | Beyaz, Mavi               | 4-7                     | 1,4,5,7,8,9,10     | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Convolvulus pentapetaloides</i>                           | Sivas-Divriği  | Mor                       | 4-6                     | 1,2,7,8            | Akd.         | -        |      |
| BORAGINACEAE   | <i>Convolvulus betonicifolius</i> ssp. <i>betonicifolius</i> | Sivas-Divriği-Demirdağ                               | Beyaz                     | 5-7                     | 12                 | -            | -        |      |
|  | <i>Lappula barbata</i>                                       | Sivas  | Mor                       | 5-7                     | 2,6,7              | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Myosotis minutiflora</i>                                  | Sivas-Gürün  | Mavi                      | 4-6                     | 1,2,7              | Akd.         | -        |      |
|  | <i>Myosotis lithospermiflora</i>                             | Sivas-Zara-Şuşehri                                   | Mavi                      | 5-6                     | 1,2,7              | -            | -        |      |
|  | <i>Myosotis diminuta</i>                                     | Sivas-Yıldız D.                                      | Mavi                      | 7                       | 3                  | İr.-Tur.     | -        |      |
|  | <i>Paracaryum racemosum</i> var. <i>racemosum</i>            | Sivas-Zara   | Mavi                      | 5-6                     | 1,2,5,6,7,11       | İr.-Tur.     | End.     |      |
|  | <i>Paracaryum ancyritanum</i>                                | Sivas-Şuşehri  | Sarı                      | 5-6                     | 1,2,5,6,7,11       | İr.-Tur.     | End.     |      |
| <i>Paracaryum cristatum</i> ssp. <i>cristatum</i>    | Sivas-Gürün  | Mavi, Bordo  | 5-6                       | 1,2,5,6,7,11            | İr.-Tur.           | End.         |          |      |
| <i>Rindera caespitosa</i>                            | Sivas-Kangal   | Mavi   | 6-7                       | 1,2,5,6,7,11            | İr.-Tur.           | End.         |          |      |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: turmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

Çizelge 1. Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı (devamı)

| Familya          | Tür   | Bulunduğu yer                | Çiçek rengi | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element  | End. |
|------------------|---|------------------------------|-------------|-------------------------|--------------------|----------|------|
|                  | <i>Echium orientale</i>                               | Sivas- Zara                  | Sarı        | 6-7                     | 1,2,5,6,7,11       | -        | End. |
|                  | <i>Moltkia coerulea</i>                               | Sivas-Dumluca                | Bordo       | 4-6                     | 1,2,5,6,7,11       | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Onosma trachytrichum</i>                           | Sivas-Suşehri                | Beyaz, Sarı | 5-7                     | 6,7,8              | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Onosma sintenisii</i>                              | Sivas- Zara                  | Sarı        | 5-7                     | 6,7,8              | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Onosma microcarpum</i>                             | Sivas                        | Sarı        | 4-8                     | 2,6,7,8            | İr.-Tur. | -    |
| BORAGINACEAE     | <i>Onosma isauricum</i>                               | Sivas                        | Sarı        | 5-9                     | 2,6,7,8            | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Onosma bracteosum</i>                              | Sivas-Divriği                | Sarı        | 5-7                     | 2,6,7,8            | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Onosma briquetii</i>                               | Sivas-Yıldız D.              | Sarı        | 7                       | 6,7,8              | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Onosma bourgaei</i>                                | Sivas-Akdağ                  | Sarı        | 5-7                     | 6,7,8              | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Onosma molle</i>                                   | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 4-7                     | 2,6,7,8            | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Onosma tauricum</i> var. <i>brevifolium</i>        | Sivas-Kangal-Gürün           | Sarı        | 5-6                     | 2,6,7,8,10         | -        | End. |
|                  | <i>Cerinth minor</i>                                  | Sivas-Kangal                 | Sarı        | 5-8                     | 2,6,7,8,10         | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Symphytum bornmuelleri</i>                         | Sivas-Yıldız D.              | Beyaz       | 4-8                     | 2,6,7,8            | -        | End. |
| BORAGINACEAE     | <i>Nonea pulla</i> ssp. <i>scabrisquamata</i>         | Sivas-Kızıldağ               | Bordo       | 4-6                     | 1,2,5,7,10         | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Nonea stenosolen</i>                               | Sivas-Yıldızeli              | Pembe       | 5-7                     | 1,2,6,7,8,10       | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Alkanna megacarpa</i>                              | Sivas- Divriği               | Mavi        | 4-6                     | 1,2,6,7,8,10       | İr.-Tur. | End. |
| SOLANACEAE       | <i>Hyoscyamus reticulatus</i>                         | Sivas- Tecer dağı            | Sarı, Bordo | 4-8                     | 4,5,6,7,8,10       | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Linaria genistifolia</i> ssp. <i>genistifolia</i>  | Sivas-Çamlıbel D.            | Sarı        | 5-8                     | 1,2,6,7,8          | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Linaria corifolia</i>                              | Sivas-Şarkışla               | Pembe       | 5-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Linaria kurdica</i> ssp. <i>kurdica</i>            | Sivas-Suşehri                | Sarı        | 7-8                     | 1,2,6,7,8          | İr.-Tur. | -    |
| SCROPHULARIACEAE | <i>Lagotis stolonifera</i>                            | Sivas-İmranlı                | Mavi        | 4-6                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Eufrasia pectinata</i>                             | Sivas-Karaçayır              | Beyaz       | 5-8                     | 1,7,8,10           | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Pedicularis comosa</i> var. <i>sibthorpii</i>      | Sivas-Yıldız Dağları         | Pembe       | 5-8                     | 3,5,7,8,10         | -        | -    |
|                  | <i>Rhynchosorys elephas</i> ssp. <i>elephas</i>       | Sivas-Yıldız Dağları-Sarıyar | Sarı        | 5-9                     | 2,4,7,10           | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Veronica reuterana</i>                             | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 4-6                     | 1,3                | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Veronica arvensis</i>                              | Sivas-Karaçayır              | Mavi        | 3-6                     | 1,2,7              | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Veronica verna</i>                                 | Sivas-Yıldız D.              | Mavi        | 4-6                     | 1,2,7              | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Veronica praecox</i>                               | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 4-5                     | 1,2,7              | -        | -    |
|                  | <i>Veronica biloba</i>                                | Sivas-Zara                   | Mavi        | 5-6                     | 1,2,7              | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Veronica bornmuelleri</i>                          | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 5-6                     | 1,7                | İr.-Tur. | -    |
| SCROPHULARIACEAE | <i>Veronica campylopoda</i>                           | Sivas-Kangal                 | Mavi        | 4-6                     | 1,6,7              | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Veronica anagallis-aquatica</i>                    | Sivas-Kangal                 | Pembe,Mor   | 3-9                     | 3,7,8              | -        | -    |
|                  | <i>Veronica oxycarpa</i>                              | Sivas                        | Mavi        | 3-9                     | 3,7,8              | -        | -    |
|                  | <i>Veronica lysimachioides</i>                        | Sivas-Yıldız D.-Sarıyar      | Pembe       | 5-9                     | 1,6,7              | -        | -    |
|                  | <i>Veronica caespitosa</i> var. <i>caespitosa</i>     | Sivas-Kunduz D.              | Mavi        | 5-8                     | 1,2,7              | D.Akd.   | End. |
|                  | <i>Veronica cinerea</i>                               | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 5-7                     | 1,2,7              | D.Akd.   | End. |
|                  | <i>Veronica thymoides</i>                             | Sivas-Kızıldağ               | Mavi        | 5-7                     | 1,2,7              | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Veronica polifolia</i>                             | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 5-6                     | 1,2,7              | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Veronica macrostachya</i> ssp. <i>macrostachya</i> | Sivas-Göldağı-Divriği        | Mavi,Bordo  | 4-6                     | 1,2,7              | D.Akd.   | -    |
|                  | <i>Veronica orientalis</i> ssp. <i>orientalis</i>     | Sivas-Gürün                  | Mavi        | 4-7                     | 1,2,7              | İr.-Tur. | -    |
| ACANTHACEAE      | <i>Acanthus hirsutus</i>                              | Sivas-Kangal                 | Sarı        | 5-7                     | 1,2,5,7,8,10       | -        | -    |
| GLOBULARIACEAE   | <i>Globularia trichosantha</i>                        | Sivas-Demirdağ               | Mavi        | 4-7                     | 1,2,5,7            | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Teucrium multicaule</i>                            | Sivas-Gürün                  | Beyaz       | 4-7                     | 6,7,8,10,11        | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Teucrium orientale</i> var. <i>orientale</i>       | Sivas-Suşehri                | Mavi        | 6-9                     | 1,2,5,7,10,11      | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Teucrium chamaedrys</i>                            | Sivas-Divriği                | Pembe       | 7-8                     | 1,2,5,7,10,11      | Avr.-Sib | -    |
|                  | <i>Teucrium polium</i>                                | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 6-9                     | 1,2,5,7            | -        | -    |
|                  | <i>Scutellaria orientalis</i>                         | Sivas-Divriği                | Sarı        | 5-6                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Eremostachys moluccelloides</i>                    | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 5-6                     | 2,5,7,8,10,11      | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Phlomis tuberosa</i>                               | Sivas-Zara                   | Pembe       | 6-7                     | 2,5,6,7,10,11      | -        | -    |
|                  | <i>Phlomis pungens</i>                                | Sivas-Tecer D.               | Pembe       | 6-8                     | 2,5,6,7,10,11      | -        | -    |
|                  | <i>Phlomis oppositiflora</i>                          | Sivas-Zara                   | Sarı        | 6-7                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Phlomis armeniaca</i>                              | Sivas                        | Sarı        | 6-8                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Phlomis physocalyx</i>                             | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 6-7                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
| LABIATAE         | <i>Phlomis capitata</i>                               | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 6-8                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Phlomis sieheana</i>                               | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 5-7                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Phlomis linearis</i>                               | Sivas-Gürün                  | Sarı        | 5-8                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Lamium crinitum</i>                                | Sivas-Beydağı-               | Mor         | 6-8                     | 1,2,5,7,8,10       | -        | -    |
|                  | <i>Wiedemannia orientalis</i>                         | Sivas-Şarkışla               | Pembe       | 4-6                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Wiedemannia multifida</i>                          | Sivas-Zara                   | Pembe       | 5-7                     | 2,5,6,7,10,11      | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Lallemantia peltata</i>                            | Sivas-Suşehri                | Mavi        | 5-7                     | 2,5,6,7,10         | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Lallemantia iberica</i>                            | Sivas-Zara                   | Mavi        | 4-6                     | 2,5,6,7,10         | İr.-Tur. | -    |
|                  | <i>Origanum acutidens</i>                             | Sivas-Zara                   | Pembe       | 6-8                     | 2,5,6,7,8,10       | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Thymus cappadocicus</i> var. <i>pruinus</i>        | Sivas-Gürün-Kangal           | Beyaz       | 6-7                     | 1,2,7,9            | İr.-Tur. | End. |
|                  | <i>Mentha longifolia</i> var. <i>typhoides</i>        | Sivas-Gürün                  | Pembe       | 7-10                    | 1,3,5,7,8,10       | -        | -    |
|                  | <i>Ziziphora clinopodioides</i>                       | Sivas-Akdağ                  | Beyaz       | 7-9                     | 1,2,5,7,8          | -        | -    |
|                  | <i>Ziziphora capitata</i>                             | Sivas-Zara                   | Pembe       | 4-8                     | 1,2,5,7,8          | İr.-Tur. | -    |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

Çizelge 1. Araştırma alanında gözlemlenen bitki türlerinin peyzaj tasarımında kullanımı (devamı)

| Famulya      | Tür   | Bulunduğu yer            | Çiçek rengi       | Çiçeklenme mevsimi (Ay) | Kullanım imkanları | Element       | End.     |
|--------------|---|--------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|---------------|----------|
| LABIATAE     | <i>Salvia bracteata</i>                                     | Sivas-Suşehri            | Pembe             | 5-7                     | 1,2,5,6,7,10       | İr.-Tur.      | -        |
|              | <i>Salvia caespitosa</i>                                    | Sivas-Ulaş               | Pembe             | 6-7                     | 1,2,5,6,7,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia blepharochlaena</i>                               | Sivas-Gürün              | Pembe             | 6-7                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia euphratica</i> var. <i>euphratica</i>             | Sivas-Gürün-Kangal       | Pembe             | 4-5                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia multicaulis</i>                                   | Sivas-Gürün              | Mor               | 4-7                     | 1,2,5,7,8,10       | İr.-Tur.      | -        |
|              | <i>Salvia cryptantha</i>                                    | Sivas-Zara               | Pembe             | 5-7                     | 1,2,5,6,7,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia viridis</i>                                       | Sivas-Suşehri            | Mavi              | 3-7                     | 1,2,5,6,7,10       | Akd.          | -        |
|              | <i>Salvia hypargeia</i>                                     | Sivas-Gürün              | Mavi              | 6-7                     | 1,2,5,6,7,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia cyanescens</i>                                    | Sivas-Yıldız D.-         | Pembe             | 6-9                     | 1,2,5,6,7,10       | İr.-Tur.      | End.     |
|              | <i>Salvia virgata</i>                                       | Sivas-Gürün              | Pembe             | 5-9                     | 1,6,7,10           | İr.-Tur.      | -        |
|              | <i>Salvia verticillata</i> ssp. <i>amasiaca</i>             | Sivas-Divriği            | Pembe             | 5-9                     | 1,6,7,10           | İr.-Tur.      | -        |
|              | PLUMBAGINACEAE  | <i>Limonium gmelinii</i> | Sivas- Zara-Hafik | Pembe,Mor               | 5-10               | 5,6,7,8,10,11 | Avr.Sib. |
| ALISMATACEAE | <i>Alisma plantago-aquatica</i>                             | Sivas- Gürün-Suçatı      | Beyaz             | 6-9                     | 3                  | Avr.Sib.      | -        |
|              | <i>Alisma gramineum</i>                                     | Sivas- İmranlı           | Pembe             | 6-9                     | 3                  | -             | -        |
| TYPHACEAE    | <i>Typha shuttleworthii</i>                                 | Sivas-Yıldızeli          | Bilinmiyor        | 6-9                     | 3                  | -             | -        |
|              | <i>Typha angustifolia</i>                                   | Sivas-İmranlı            | Bilinmiyor        | 6-9                     | 3                  | -             | -        |
| CYPERACEAE   | <i>Schoenoplectus lacustris</i> ssp. <i>tabernaemontani</i> | Sivas-Ulaş-Karaçayır     | Sarı, K.rengi     | 4-8                     | 3                  | -             | -        |
|              | <i>Schoenoplectus litoralis</i>                             | Sivas-Yıldızeli          | Sarı, K.rengi     | 4-10                    | 3                  | -             | -        |
|              | <i>Scirpoides holoschoenus</i>                              | Sivas-Gürün-Gökpınar     | Sarı, K.rengi     | 4-8                     | 3                  | -             | -        |

Kullanım imkanları= 1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak, Açık gri: peyzaj tasarımı açısından daha az önemli<Koyu gri: peyzaj tasarımı açısından çok önemli

#### 4. Tartışma ve sonuç

Günümüzde iklim değişikliği göz önünde bulundurulduğunda bitkisel tasarımlarda bakım ve sulama ihtiyaçları yüksek olan egzotik türler yerine doğal türlerle de estetik, fonksiyonel ve sürdürülebilir tasarımlar yapılabilir. Ülkemiz coğrafi konumu ve iklimi nedeniyle doğal bitki örtüsü açısından oldukça zengin bir ülkedir. Fakat bu zengin bitki örtüsü peyzaj tasarım ve uygulamalarında yeterince kullanılmamaktadır. Özellikle İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde peyzaj tasarımlarında ve bozulan doğal peyzajın rehabilite edilmesinde doğal türler göz ardı edilmektedir. Bu amaçla bu tür çalışmaların peyzaj tasarım ve uygulamalarında doğal türlerin kullanımını artıracakları öngörülmektedir. Son dönemlerde gelişmiş ülkelerle birlikte ülkemizde de kentsel mekânlarda peyzaj tasarım projelerinde doğal bitkisel düzenlemeler tercih edilmeye başlanmıştır. Türkiye’de birçok bölgede yere özgü bitki türlerinin süs bitkisi olarak değerlendirilmesine yönelik akademik çalışmalar ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Yılmaz vd., 1996; Acar, 2001; Yılmaz ve Karahan, 1999; Eroğlu vd., 2005; Özer vd., 2009; Turgut, 2009; Ekici, 2010; Koçan, 2010; Karaşah ve Var, 2012; Kaya vd., 2012; Turgut vd., 2012; Turgut vd., 2013; Bekci vd., 2013). Doğal türlerin kentsel alanlarda kullanılması hem bu bitkilerin halk tarafından tanınmasına katkı sağlayacak hem de bu bitkilere koruma alanı yaratacaktır. Bu amaçla Sivas özelinde yapılan bu çalışmada, alanda peyzaj tasarımlarında kullanılabilecek 39 familyaya ait 331 otsu tür incelenmiştir. Bu türlerden 114’ü endemik, 158’i İran-Turan, 22’si Avrupa-Sibirya, 15’i Akdeniz elementi ve 136’sının bilinmeyen tür olduğu belirlenmiştir. İncelenen bu otsu türler daha önceki çalışmalarda belirlenmiş olan 12 kritere (1: zemin kat çiçekleri, 2: taş bahçelerde, 3: su bahçelerinde, 4: iç mekanlarda, 5: şehir parklarında, 6: yol kenarlarında, 7: doğal peyzajda, 8: renk birleştirme elemanı olarak, 9: zemin kaplaması olarak, 10: bitki grupları olarak, 11: yokuşlarda, 12: tırmanıcı olarak) göre değerlendirilmiş, bu kriterlerden 5 ve 6 kriterle sahip olan türler peyzaj tasarımlarında kullanılma potansiyeli en yüksek türler olduğu tespit edilmiştir. Buna göre alanda tespit edilen 331 türden 200’ünün peyzaj tasarımlarında kullanılma potansiyeli çok yüksek olan Compositae, Labiatae, Boraginaceae, Scrophulariaceae,

Campanulaceae familyalarına ait olduğu belirlenmiştir. Ayrıca alanda tespit edilen bu türlerin çiçeklenme takvimleri incelenerek, 3 ve 3 aydan daha fazla çiçeklenen türlerin peyzaj tasarımlarında kullanımları önerilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile Sivas’ın otsu türlerinin önemli bir çeşitliliğe sahip olduğu ortaya konulmuştur. Ancak bu türler yeterince tanınmamakta ve kullanılmamaktadır. Bu nedenle araştırma alanında belirlenen bu türlerin kalıcılığını sağlamak ve peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarını artırmak için habitatlarının korunması ve yetiştiriciliğinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla alanda konu ile ilgili çalışmaların artırılması ve bu türlerin yetiştirilmesine yönelik tesislerin geliştirilmesi peyzaj mimarlığında kullanılabilecek bitki çeşitliliğinin artmasına katkı sağlayacaktır. Alanda tüm endemik bitki türleri ve nadir bulunan türler için acilen koruma önlemleri alınmalıdır. Ayrıca peyzaj mimarisinde bu türlerin yaygın kullanımını kolaylaştırmak için endüstriyel üretimin desteklenmesi yararlı olabilir. Türkiye’nin diğer doğal bitki örtüsü açısından zengin olan alanlarında da peyzaj tasarımlarında kullanılabilecek bitkilerin tespitine yönelik çalışmalar yapılmalı, doğal kökenli süs bitkilerinin üretimine yönelik hibridasyon çalışmaları desteklenmeli, küresel ticari rekabete karşı da ayakta kalabilen, üstün estetik özelliklere sahip otsu bitkilerin endüstriyel üretimi yapılmalıdır.

#### Kaynaklar


- Acar, C., 2001. Trabzon Yöresi Değirmendere ve Solaklı havzaları yol şevlerinde yetişen yer örtücü bitkiler. Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1: 43-53.
- Acar, C., 1997. Trabzon ve yöresinde yetişen doğal bazı yerörtücü bitkilerin peyzaj mimarlığında değerlendirilmeleri üzerine bir araştırma. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akputat, H.A., 2018. Lota gölleri (Sivas, Türkiye) ve çevresinin florası. Turkish Journal of Biodiversity, 1(1): 2433.
- Akputat, H.A., Karakuş, C.B., 2019. Sivas ilinde yayılış gösteren endemik türlerin tehlike kategorilerine göre mekansal dağılımı. VIII. Umteb International Congress on Vocational & Technical Sciences, 11-13 Ekim 2019, Sivas, s. 185-197.
- Akputat, H.A., Çelik, N., 2002. Sivas- Sıcak Çermik Arası Florası. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 23(1): 1-15.

- Akpulat, H.A., Çelik, N., 2005. Flora of gypsum areas in Sivas in the eastern part of Cappadocia in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Arid Environments*, 61(1): 27-46.
- Aksoy, O., Erken, K., 2022. Marmara florasında doğal olarak yetişen bitki türlerinin peyzaj mimarlığında kullanımı. Dört mevsim çiçekli bir bahçe için bitkisel tasarım projesi örneği. *Ağaç ve Orman*, 3(1): 8-19.
- Aslan, M., Akan, H., 2019. A study of natural woody plants of forest in Şanlıurfa—determination of detection and landscape values of parks and garden plants. *Biological Diversity and Conservation*, 12(1): 50-65.
- Atalay, İ., 1994. Türkiye Vegetasyon Coğrafyası. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Bayraktar, A., 1980. İzmir ve çevresi yeşil örtüsünde bazı doğal bitki türlerinin saptanması ve peyzaj çalışmalarında kullanım olanakları üzerinde araştırmalar. *Türkiye Peyzaj Mimarisi Derneği Yayınları*, No:1980/2, İzmir.
- Bekci, B., Var, M., Taşkan, G., 2013. Bitkilendirme tasarım kriterleri bağlamında doğal türlerin kentsel boşluk alanlarında değerlendirilmesi: Bartın, Türkiye. *Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi* 14(1): 113–125.
- Bozkurt, S.G., 2021a. Sivas’da doğal olarak yetişen bazı odunsu ve çalı türlerinin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Eurasian Journal of Forest Science*, 9 (3): 79-91.
- Bozkurt, S.G., 2021b. Sivas ilinde doğal olarak yetişen bazı geofitlerin peyzaj mimarlığında kullanım olanaklarının incelenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52 (3): 300-313, Erzurum.
- Civelek, Ş., 1986. Taşlıdere (Sivas) Florası. Bilim Uzmanlığı Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Civelek, Ş., 1992. Çamlıbel – Yıldız Dağları (Sivas – Tokat) florası. *Turkish Journal of Botany*, 16(1): 21-53.
- Çelik, N., Yıldız, B., 1991. Tecer Dağları (Sivas) florası. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14:3-16.
- Dağ, C., 2007. Sıcak Çermik – Yıldızeli (Sivas) arası florası. Bilim Uzmanlığı Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Davis, P.H., 1965. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol. 1. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Davis, P.H., 1965-1988. Flora of Turkey and The East Aegean Islands. Vol. 1-10. Edinburgh University Press, Edinburgh.
- Dönmez, E., 1994. Sivas – Hafik arası florası. Bilim uzmanlığı tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Dönmez, E., 1999. Gövdeli Dağı (Sivas-Kayseri) florası. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- Dönmez, E., 2000. New floristic records for squares B6 (Sivas-Kayseri). *Turkish Journal of Botany*, 24(5): 307-309.
- Ekim, T., Düzenli, A., 1982. İncebel Dağlarının (Kayseri-Sivas) florası. TÜBİTAK, Proje no: TBAG – 419, Ankara.
- Envy, 2004. Handbook of Threatened and Endemic Plant Species of BTC Pipeline, BTC Co., Ankara.
- Eroğlu, E., Kesim, G., A., Müderrisoğlu, H., 2005. Düzce kenti açık ve yeşil alanlarındaki bitkilerin tespiti ve bazı bitkisel tasarım ilkeleri yönünden değerlendirilmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 11(3): 270–277.
- Eroğlu, E., Acar, C., 2009. Trabzon ve yakın çevresi bazı yayla alanlarındaki alpin bitkiler ve peyzaj mimarlığı çalışmalarında kullanım potansiyelleri. *Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 5(1): 42-59.
- Ergün, A., 2008. Sivas şehrinde kentleşme ve sanayileşmeye bağlı çevre sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Ergüner, Y., Kumar, J., Hoffman, F. M., Dalfes, H. N., Hargrove, W. W., 2019. Mapping ecoregions under climate change: a case study from the biological ‘crossroads’ of three continents, Turkey. *Landscape Ecology*, 34(1): 35-50.
- Ekici, B., 2010. Bartın kenti ve yakın çevresinde yetişen bazı doğal bitkilerin kentsel mekanlarda kullanım olanakları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 110-126.
- Göktaş, O., Akpulat, H.A., 2021. Ulaş-Kangal (Sivas, Türkiye) arası florası. *Turkish Journal of Biodiversity*, 4(1): 7-21.
- Güner, A., Özhatay, N., Ekim T., Başer, H.K.C., 2000. Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edinburgh University Press, Edinburgh (2000). Supplement, 2(11): 656.
- Gülçin, D., Deniz, B., 2020. Remote sensing and GIS-based forest fire risk zone mapping: The case of Manisa, Turkey. *Turkish Journal of Forestry*, 21(1): 15-24.
- Irmak, M.A., Yılmaz, H., 2008. Tortum Çayı Havzası’nın odunsu bitkilerinin peyzaj mimarlığı açısından fonksiyonel ve estetik amaçlı kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*, 1(1): 1-12.
- Kaya, A., Karagüzel, Ö., Aydınsakir, K., Kazaz, S., Özçelik, A., 2012. Türkiye’de doğal olarak yetişen bazı *Gypsophila* (*Gypsophila* sp.) türlerinin süs bitkisi olarak kullanım olanakları. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi*, 29(1): 37–47.
- Karaşah, B., Var, M., 2012. Trabzon ve bazı ilçelerinde kent dokusundaki bitkilendirme tasarımlarının ölçü–form açısından irdelenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14: 1–11.
- Kılıç, T., Kazaz, S., Ergür, G.E., Gül, A., 2016. Meyve özellikli odunsu bitki türlerinin peyzaj amaçlı bitkisel tasarımda kullanılabilirlik olanakları. VI. Süs Bitkileri Kongresi, 19-22 Nisan, Antalya, s.347-357.
- Koçan, N., 2010. Peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarında kuşburnu (*Rosa canina* L.) bitkisinin değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 14(4): 33– 37.
- Kurt, L., 1995. Yozgat-Sivas arasında kalan bölgenin vejetasyonunun (Geyikli Dağı, Sırkılı Dağı, Karababa Dağı, Ak Dağlar) sinekolojik yönden araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kurşun, H., 2014. Peyzaj mimarlığı çalışmalarında süs bitkisi olarak kullanılan meyve türleri (Mezuniyet Tezi). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ankara.
- Meffe, G.K., Carroll, C.R., 1994. Principles of Conservation Principles. Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Özüdoğru, B., Erik, S., Akaydın, G., 2010. The Flora of The Karababa Mountain (Sivas-Şarkışla/Turkey). *Biological Diversity and Conservation* 3/3; 176-192.
- Özer, S., Yılmaz, H., Kaya, Y., 2009. Determination of the diversity of grassy and woody plant species in Sarıkamış/Turkey district and evaluation of their usability in planning and design attempts. *Biological Diversity and Conservation*, 2(3): 75–81.
- Polunin, O., 1969. Flowers of Europe Flowers, Oxford University Press, Oxford, England.
- Sarıbaş, M., Kaya, Z., Başaran, S., Yaman B., Sabaz, M., 2007. The Use of Some Natural Plant Species from the Western Black Sea region of Turkey for landscape design. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16(2): 193
- Sivas, 2002. Sivas İl Yıllığı 2002, Sivas: Sivas Valiliği.
- Sivas Haritası, 2021. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Sivas\\_%28tr%29.svg/891px-Sivas\\_%28tr%29.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7a/Sivas_%28tr%29.svg/891px-Sivas_%28tr%29.svg.png), Erişim: 12.03.2021.
- Sivas Haritası, 2023. <https://i.idefix.com/pimages/Content/Uploads/LandingPage/IDEFIX/campaign/harita/sivas.png>, Erişim: 12.03.2023.
- Tırnakçı, A., Aklıbaşında, M., 2023. Doğal bitki türlerinin kentsel alanlardaki bitkisel tasarımlarda kullanımı. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 24 (1) : 167-177.
- Turgut, H., 2009. Erzurum’daki bazı sulak alan bitkilerinin tespiti ve bu bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanım olanakları. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Turgut, H., Atabeyoğlu, Ö., Yılmaz, H., Irmak, M., A., 2012. Evaluating different planting design compositions for visual landscape quality in street planting. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1): 49–66.
- Turgut, H., Karaşah, B., Erdoğan, A., Yaman, Y., K., Eminağaoglu, Ö., 2013. Artvin ili çevresinde bulunan bazı doğal bitkilerin süs bitkisi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi. 5. Süs Bitkileri Kongresi, 6-9 Mayıs, Yalova, s. 134–142.

- TÜBİVES, 2021-2023. Türkiye Bitkileri veri Sistemi. <http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php>, Erişim: 15.05.2023.
- Türkmen, N., 1987. Çukurova üniversitesi kampus alanının doğal bitkileri, hayat formları ve habitatları. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Yazgan, M., E., Korkut, A., B., Barış, E., Erkal, S., Yılmaz, R., Erken, K., Gürsan, K., Özyavuz, M., 2005. Süs bitkileri üretiminde gelişmeler. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, Tekirdağ, s. 589-607.
- Yıldız, B., 1996. Floristic Characteristics of Köse Dağı (Sivas). Turkish Journal of Botany, 20(5): 417-457.
- Yılmaz, H., Kelkit, A., Bulut, Y., Yılmaz, S., 1996. Erzurum yöresi doğal çayır-mera ve yayla vejetasyonlarında yetişen otsu ve odunsu bitki türlerinin peyzaj mimarlığındaki önemi. Türkiye 3. Çayır-Mera ve Yem Bitkileri Kongresi, 17-19 Haziran, Erzurum, s.212-218.
- Yılmaz, H., Karahan, F., 1999. Alpin bitkilerin korunması ve yararlanma olanakları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 30(1): 95-103.
- Yılmaz, H., Yılmaz, H., 2009. Karayolu şevlerinde doğal olarak yetişen odunsu bitkilerin kullanım alanlarının irdelenmesi; Erzurum-Uzundere örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A (1): 101-111.



## Uzaktan algılama teknikleri ve parçalılık analizi kullanılarak Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasında arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi

Hamdi Kaptanoğlu<sup>a</sup> , Esin Erdoğan Yüksel<sup>b,\*</sup> 

**Özet:** Havza yönetimi çalışmalarında doğal kaynakların etkin ve sürdürülebilir planlanabilmesi için arazi kullanımı/arazi örtüsü zamansal değişiminin özellikle konumsal yapı ve alansal dağılım itibarıyla belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Orhaneli Çayı üzerinde kurulu ve Bursa ili için potansiyeli yüksek su kaynaklarından biri olan Çınarcık Baraj Gölü yukarı havza bölümü araştırma alanı olarak seçilmiştir. Arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin belirlenmesinde 1997, 2011 ve 2020 yıllarına ait hava fotoğrafları ile 2005 ve 2017 yıllarına ait meşçere haritaları veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Hava fotoğrafları üzerinde kontrollü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş, 2005 ve 2017 yıllarındaki orman amenajman planlarına ait veriler incelenmiştir. Yapılan sınıflandırma sonucunda arazi kullanımı ile ilgili alansal değişimler, meşçere haritaları aracılığıyla da arazi örtüsü değişiminin farklı yıllara ait sonuçları karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra 12 yıllık değişim parçalılık analizi indisleri kullanılarak detaylandırılmıştır. Sonuç olarak kontrollü sınıflandırmanın iyi düzeyde (1997 yılı için %78.33, 2011 yılı için %81.33, 2020 yılı için %90.67 doğruluk oranı) uyum gösterdiği, hava fotoğraflarının incelendiği 23 yıl süresince 5304.8 ha orman alanının 5694.7 ha'ya, 617 ha açıklık alanın 1052.1 ha'ya yükseldiği; 2452.7 ha ziraat alanının 1924.2 ha'ya, 243.4 ha iskân alanının 53.9 ha'ya düştüğü tespit edilmiştir. Su alanları ise 9 yıllık süreçte 334.4 ha'dan 368.6 ha'ya çıkmıştır. Meşçere tipi haritalarının irdelenmesi sonucu elde edilen arazi örtüsü sınıflarına göre ise 2005 ve 2017 yılları arasında maden sahalarına bozuk orman alanlarından 34 ha, verimli orman alanlarından ise 142.8 ha geçiş olmuştur. Genel olarak tüm alan analiz edildiğinde; verimli orman alanları 142.2 ha, su ile kaplı alanlar 101.4 ha ve ziraat alanları 199 ha azalmıştır. Maden alanlarında 167.5 ha, açıklık alanlarda 229.2 ha, iskân alanlarında 11.5 ha ve bozuk orman alanlarında ise 34.4 ha artış meydana gelmiştir. Verimli ormanlık alandaki miktar azalışına rağmen parça sayısı (NP) 62'den 85'e çıkmış, ortalama parça büyüklüğü (MPS) 27.48 ha azalmıştır. Arazi ölçeğinde NP değeri 365'ten 608'e yükselerek tüm alanda artmış ve buna bağlı olarak MPS 9.96 ha azalmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Çınarcık Baraj Gölü Havzası, Arazi kullanımı/arazi örtüsü, Uzaktan algılama, Zamansal değişim, Bursa

## Determination of land use/land cover change in the upper basin of Çınarcık Dam Lake using remote sensing techniques and fragmentation analysis

**Abstract:** In order to plan natural resources effectively and sustainably in basin management studies, it is very important to determine the temporal change of land use/land cover, especially in terms of spatial structure and areal distribution. In this study, the upper basin of Çınarcık Dam, which is built on the Orhaneli Stream and is one of the water resources with high potential for the province of Bursa, was selected as the research area. Aerial photographs from 1997, 2011 and 2020 and stand maps from 2005 and 2017 were used as data sources to determine land use/land cover change. A supervised classification method was carried out on aerial photographs and data from 2005 and 2017 forest management plans were examined. As a result of the classification, areal changes related to land use and the results of land cover change for different years were comparatively revealed through stand maps. In addition, the 12-year change was detailed using fragmentation analysis indices. As a result, the supervised classification showed good compliance (with 78.33% for 1997, 81.33% for 2011, 90.67% for 2020 overall accuracy), and when the aerial photographs were examined for 23 period, the forest area of 5304.8 ha increased to 5694.7 ha, and the open area of 617 ha increased to 1052.1 ha while agricultural area of 2452.7 ha decreased to 1924.2 ha, and the residential area of 243.4 ha decreased to 53.9 ha. Water areas increased from 334.4 ha to 368.6 ha in the 9-year period examined. According to the land cover classes obtained as a result of examining the stand type maps, there was a transition of 34 ha from degraded forest areas to mining areas and 142.8 ha from productive forest areas between 2005 and 2017. In general, when the entire area is analyzed, productive forest areas decreased by 142.2 ha, water-covered areas decreased by 101.4 ha, and agricultural areas decreased by 199 ha. There was an increase of 167.5 ha in mining areas, 229.2 ha in open areas, 11.5 ha in residential areas and 34.4 ha in degraded forest areas. Despite the decrease in the amount of productive forest area, patch number (NP) increased from 62 to 85, and the mean patch size (MPS) decreased by 27.48 ha. On a land scale, the NP value increased in the entire area, increasing from 365 to 608, and accordingly, MPS decreased by 9.96 ha.

**Keywords:** Çınarcık Dam Lake Basin, Land use/land cover, Remote sensing, Temporal change, Bursa

<sup>a</sup> Orman Genel Müdürlüğü, Kadastro ve Mülkiyet Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

<sup>b</sup> Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Yönetimi Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

\* **Corresponding author** (İletişim yazarı): esin.yuksel@btu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 13.07.2024, **Accepted** (Kabul tarihi): 19.08.2024



**Citation** (Atıf): Kaptanoğlu, H., Erdoğan Yüksel, E., 2024. Uzaktan algılama teknikleri ve parçalılık analizi kullanılarak Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasında arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 25(3): 351-361.

DOI: [10.18182/tjf.1515531](https://doi.org/10.18182/tjf.1515531)

## 1. Giriş

Toprak ve su, dünyadaki canlı yaşamının devamlılığı için en önemli doğal kaynaklarımız arasında yer almaktadır. Bu kaynakların bilinçsiz ve yanlış kullanımı tüm canlılar için kuraklık, çevre kirliliği, biyolojik çeşitlilik kaybı, ormansızlaşma, erozyon, sel ve taşkın gibi büyük riskler barındırmaktadır. İnsan eliyle meydana gelen tüm değişimlerin temel güdüsü olan ekonomik kalkınma ve büyümenin sürdürülebilir olması için tüm bu riskleri öngören çevresel planlama ve havza yönetimi yaklaşımları önem arz etmektedir.

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayi devrimiyle birlikte şehirlerde artan nüfus sonucunda insanlar, yaşadıkları çevreleri kendi ihtiyaçları doğrultusunda değiştirerek dönüştürmeye başlamış ve arazi örtüsü üzerinde büyük çaplı değişimler meydana getirmişlerdir (Cruz, 1994). Bu durum, doğal ekosistemlerin bozulmasına, doğadan elde edilen kaynakların devamlılığının risk altına girmesine ve çevresel sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır (Kuru ve Tezer, 2020). Günümüzde etkilerini giderek göstermeye başlayan iklim değişimi de insan hayatının devamlılığı için su kaynaklarının yönetimini zorunlu kılmaktadır. İklim değişiminin olası etkilerinin görüldüğü günümüzde, doğal kaynakların bilinçsiz bir şekilde kullanılması gibi etkenler su yönetiminin önemini sıklıkla gündeme getirmektedir (Erdoğan vd., 2014).

Dünyanın gelişmekte olan birçok ülkesinde olduğu gibi ülkemizde de hızlı nüfus artışı (Campbell, 1998) ve sanayileşme (Yılmaz, 2013) beraberinde önemli arazi kullanım sorunlarını getirmektedir. Yeni yerleşim ve endüstri alanları için tarım alanlarının, yeni tarım alanları kazanmak için ise orman, mera ve sulak alanların tahrip edilmesi; tarım ve mera alanlarının erozyona karşı herhangi bir önlem alınmaksızın ve kapasitelerinin çok üzerinde kullanılması sorunları, doğal kaynakların kaybına ve toprak ekosisteminin bozulmasına yol açmaktadır. Dursun ve Babalık (2023a)' a göre doğal süreçler içerisinde göl havzalarında, gölün sedimentle dolması kaçınılmaz bir durum olup, yoğun tarım uygulamaları, yanlış arazi kullanımları ve arazi kullanım değişiklikleri bu sürecin hızını artırmaktadır.

Son yıllarda, sıklıkla artan çevresel sorunların temelinde, yanlış arazi kullanımı yer almaktadır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de arazilerin etkin ve potansiyeline uygun olarak kullanıldığını söyleyemezken (Babalık, 2002); buradan hareketle arazi kullanımı/arazi örtüsü tespit çalışmalarının özellikle su havzalarının yönetiminde oldukça önemli bir paya sahip olduğunu söyleyebiliriz. Etkin yönetim için ise öncelikle sağlıklı arazi politikalarına, politikaların geliştirilebilmesi için de nitelikli arazi bilgileri ile oluşturulacak arazi sınıflamasına ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi kullanımı ve örtüsü değişim analizi çalışmalarının planlı ve belirli zaman dilimlerinde tekrarlanarak yapılması değişiklikleri belirleyebilmek, incelemek ve gelecekteki dönemleri planlayabilmek için gereklidir (Güre vd., 2009).

Bu amaçla da Uzaktan Algılama (UA) tekniklerine ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanımına başvurulmakta, entegrasyonları ile zamansal ve konumsal değişimin analizi yapılabilmektedir. Nesnelerin fiziksel

özellikleri hakkında onlarla doğrudan temas etmeden bilgi edinme bilimi olarak tanımlanan UA (Çölkesen, 2009); elektromanyetik spektrumun belirli bölgelerini algılayan sensörler tarafından dünyadan yansıyan elektromanyetik enerjinin algılanmasına dayanmaktadır (Torun, 2015). Aynı konum için geçmişe ve günümüze ait görüntülerden yararlanarak arazi kullanımı/arazi örtüsü değişimi tespit edebilmektedir (Cohen ve Fiorella, 1998). UA, CBS'ye veri sağlarken; CBS bilgisayar ortamında elde edilen sayısal verilerin analizi ile yazılı ve görsel ifadesine imkân tanımaktadır. Arazi kullanımının ve yıllar itibarıyla değişiminin incelenmesi, oluşabilecek riskleri asgari düzeyde tutacak yönetsel planların ve kararların oluşturulmasında bilgi desteği sağlaması açısından oldukça önemlidir. Arazi kullanımının şekli ve toprağı örten bitkilerin durumu, toprak kayıplarını etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Bitki örtüsü, yüzeysel akışı azaltarak toprağı erozyona karşı korumaktadır (Dursun ve Babalık, 2023b).

Bu çalışmada Bursa'nın önemli su kaynaklarından biri olan Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasında, UA ve CBS'nin entegre halde kullanımıyla, arazi kullanımı/arazi örtüsü değişiminin tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada 1997, 2011 ve 2020 yıllarına ait hava fotoğrafları ile 2005 ve 2017 yıllarındaki amenajman planlarına ait meşcere tipi haritaları kullanılmıştır. Görüntüler üzerinde kontrollü sınıflandırma yapılarak Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasının arazi kullanım durumu, meşcere tipi haritaları aracılığıyla da arazi örtüsü analiz edilmiştir. Arazi kullanım durumu, arazi kullanımındaki geçişler ve parçalanma durumu yıllara göre ortaya konulmuştur.

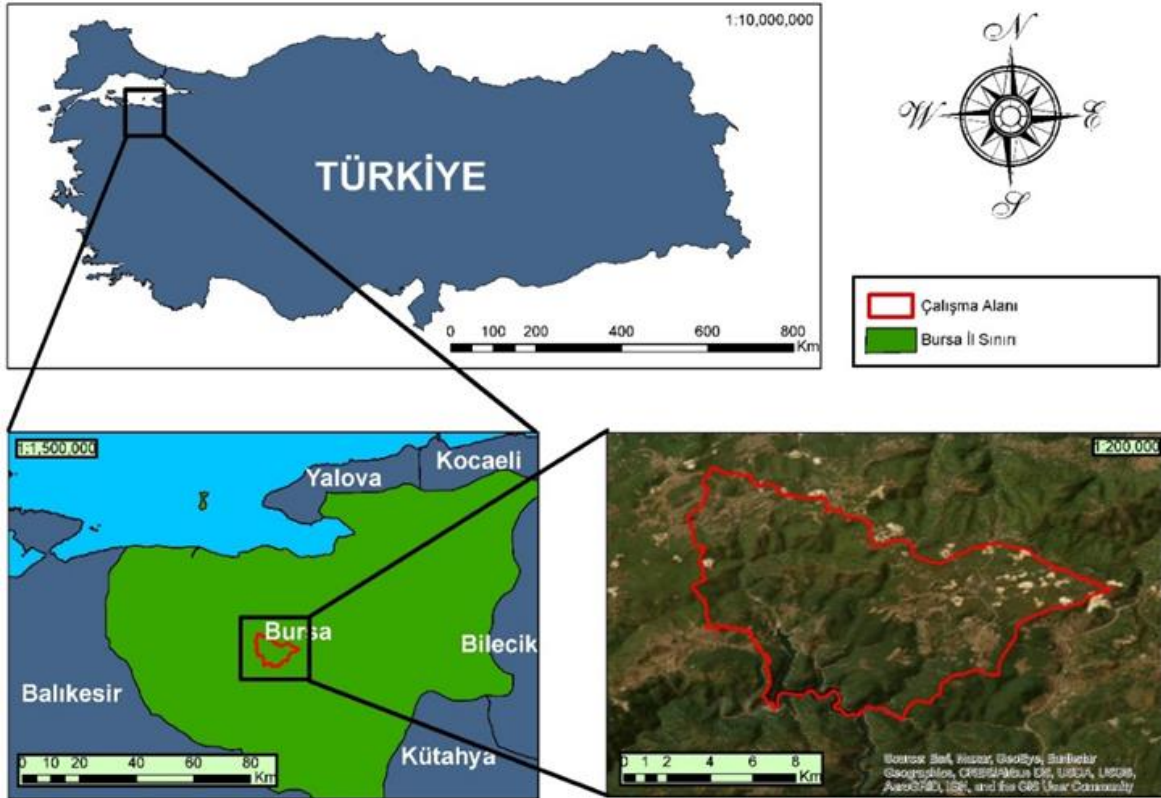
## 2. Materyal ve yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

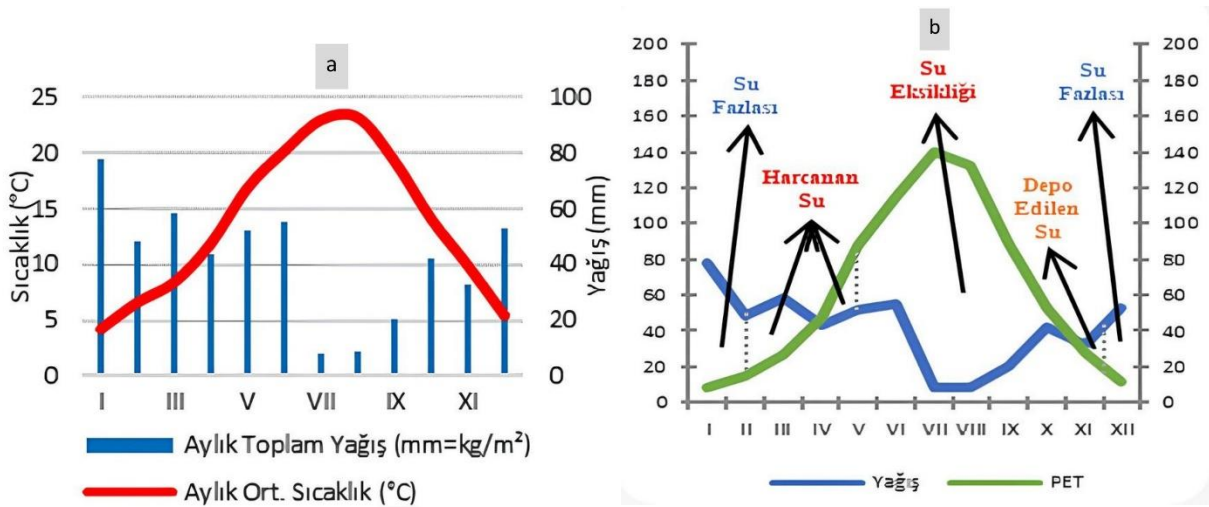
Coğrafi bakımdan Marmara Bölgesi'nde yer alan havzanın kuzeyinde Marmara Denizi, güneyinde Kütahya, doğusunda Bilecik, batısında Balıkesir illeri bulunmaktadır. Havzanın tamamı 4437.6 km<sup>2</sup> olup bunun %62'si Kütahya, %36.7'si Bursa ve %1.4'ü ise Bilecik illerinin idari sınırları içerisinde kalmaktadır (TÜBİTAK, 2018). Bursa-Orhaneli ilçesi Orhaneli Çayı üzerinde kurulu ve 2008 yılında işletmeye açılan barajın da sınırlarında yer aldığı, Çınarcık Baraj Gölü Havzası'nın 9093.5 ha alana sahip yukarı havzası çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 1).

Sulama, enerji, içme suyu ve taşkın kontrolü amacıyla inşa edilen Çınarcık Barajı Bursa ili içerisinde bulunan su kaynakları arasında en yüksek potansiyele sahip olanlardan biridir. Çınarcık Barajı'ndan endüstriyel ve içme suyu olmak üzere yılda 145 hm<sup>3</sup> su elde edilmektedir (Solak vd., 2019).

Engelibel arazi yapısına sahip olmasına rağmen Çınarcık Barajı ve göl alanı çevresinde, yükseltiler fazla değildir. Bölgede İzmir-Ankara kenet zonu, ofiyolitleri ve bunların altındaki metamorfik kayalar, alanın yükseltilerini etkilemiş ve derin vadilerin oluşmasına neden olmuştur. Kristalize kireçtaşları ile örtülü kesimler daha az engebeli alanları, neojen örtünün bulunduğu alanlar ise nispeten daha alçak topoğrafyayı oluşturmaktadır. Bölgenin doğusunda kalan kesimlerin yükseltileri ise daha fazladır (Ündül, 2007).



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu



Şekil 2. Orhaneli ilçesi iklim (a) ve su bilançosu (b) diyagramı (Erdoğan Yüksel ve Karan, 2024)

Bursa ili kuzey kesimlerinde Akdeniz ikliminin Marmara kıyılarına özgü tipi etkili olurken, güney ve iç kesimlerinde İç Batı Anadolu karasal ikliminin görüldüğü karmaşık bir yapı görülmektedir. Bursa için yıllık yağış toplamı 617.1 mm, yıllık ortalama sıcaklık 14.1 °C'dir. Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasında yer alan Orhaneli ilçesine ait 2000-2021 yılı (22 yıllık) istasyon verilerine göre ise yıllık ortalama yağış miktarı toplamı 500.7 mm'dir. Şekil 2.a'da görüldüğü gibi yıllık ortalama yağış miktarının en düşük olduğu ay 7.9 mm ile Temmuz ayı, ortalama yağış miktarının en yüksek olduğu ay ise 77.5 mm ile Ocak ayıdır. Yıllık ortalama sıcaklık ise 13.6 °C'dir. Yılın en sıcak ayı Ağustos (23.2 °C),

en soğuk ayı ise Ocak (4.2 °C) ayıdır (MGM, 2022). Su bilançosu diyagramına göre Orhaneli ilçesinde su eksikliği 5. aydan başlayarak, 10. aya kadar sürmekte; su fazlalığı sadece Ocak, Şubat ve Aralık aylarında görülmektedir. Şekil 2b'de görüldüğü gibi Thornthwaite yöntemine göre yapılan sınıflandırmalar sonucunda Orhaneli ilçesinin "C<sub>2</sub> B'<sub>2</sub> s<sub>2</sub> b'<sub>4</sub>" (yağış tesirlilik indisi C<sub>2</sub> "Yarı Nemli", sıcaklık tesirlilik indisi B'<sub>2</sub> "2. Derece Mezotermal", s<sub>2</sub> "Kış mevsiminde su eksikliği bulunan ve çok kuvvetli seviyede olan", b'<sub>4</sub> "okyanus iklimine yakın) iklim türünde olduğu belirlenmiştir (Erdoğan Yüksel ve Karan, 2024).

Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasının sınırları içerisinde bulunduğu Susurluk Havzası, iklim ve toprak koşullarının elverişliliği sebebiyle tarımsal açıdan önemli bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Havzada ağırlıklı olarak tahıl ve bitkisel ürünlerin tarımı yapılmakta; bunların yanı sıra meyve ve baharat bitkileri de üretilmektedir. Hayvancılık da önemli geçim kaynaklarından biridir ve kümes hayvanları yetiştiriciliği ön planda gelmektedir. Havza maden kaynakları bakımından da zengin bir rezerve sahiptir.

Çınarcık Baraj Gölü Havzası içerisinde yer alan ilçe sınırlarında 372 adet köy/mahalle yerleşmesi bulunmakta, en fazla yerleşimi bulunan ilçe ise 61 adet yerleşim ile Bursa İli-Orhaneli ilçesi olmaktadır. Orhaneli ilçesinde 27628,4 da kuru, 27635 da sulu tarım alanı bulunmaktadır. İlçenin krom, talk, amiyant ve linyit kömürü açısından zengin madenleri ve mermer ocakları bulunmaktadır. Madenlerden çıkarılan linyit kömürü evlerde ve Orhaneli Termik Santralinde kullanılmaktadır. Orhaneli ilçesi Sadağı köyünde bulunan kaya hamamları ve Ağaçhisar köyünde bulunan kaplıcalar, ilçenin termal turizm potansiyelini ortaya koymaktadır (TÜBİTAK, 2018).

## 2.2. Görüntülerin elde edilmesi ve verilerin analizi

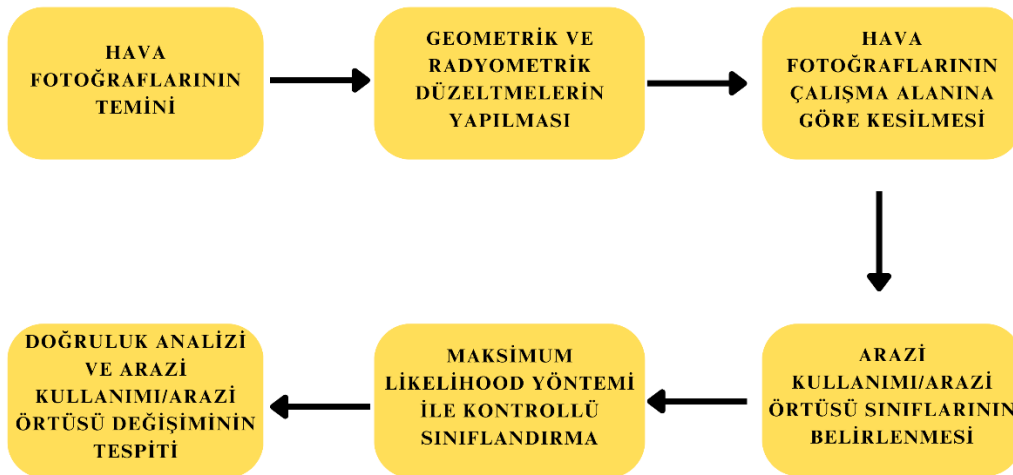
Çalışmanın ana materyalleri; 1/25.000 ölçekli topoğrafik memleket haritaları (H21-c3, H21-c4 ve H21-d3 paftaları), 2005 ve 2017 yılı amenajman planlarına (OGM, 2005a; 2005b) ait meşcere haritaları, 1997 yılına ait 1/15.000 ölçekli ve 100 cm çözünürlüklü analog hava kamerası ile çekilmiş siyah/beyaz, negatif veya pozitif hava filmlerinin taramalarından elde edilen hava fotoğrafı, 2011 yılına ait 1/30.000 ölçekli 40 cm çözünürlüklü ve 2020 yılına ait 1/60.000 ölçekli 30 cm çözünürlüklü renkli, dört bantlı (kırmızı, yeşil, mavi ve yakın kızılötesi) sayısal hava fotoğrafı ile bu fotoğraflardan üretilen ortofoto görüntülerdir (HGM, 2022).

Görüntülerinin işlenmesi, sınıflandırılması ve haritalanmasında ArcGIS 10.5 (ESRI; 2015) yazılımı kullanılmıştır. Konumsal analizler ile parçalılık indislerinin oluşturulmasında ise FRAGSTATS programının (McGarigal vd., 2002), Rempel vd. (2012) tarafından geliştirilen ArcGIS eklentileri Parçalılık analizi (Patch Analyst) ve Patch Grid (ver. 5.2)'den yararlanılmıştır.

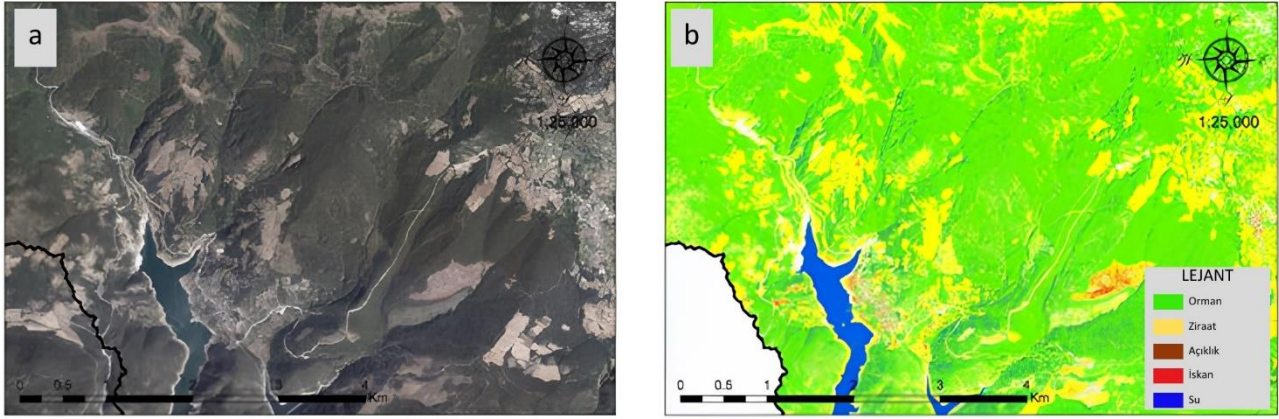
Yaklaşık 10'ar yıllık zamansal değişimi tespit etmek amacıyla temin edilen 1997, 2011 ve 2020 yıllarına ait hava fotoğraflarının, her bir bandına görüntünün daha net ve görünür olması için histogram eşitleme tekniği uygulanmıştır. Geometrik düzeltme 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden yapılmış; ERDAS Imagine yazılımında birleştirildikten sonra çalışma alanı sınıra göre kesilmiştir.

Kesilen görüntüler incelenerek çalışmada kullanılacak arazi kullanımı/razi örtüsü sınıfları tespit edilmiştir. Görüntünün piksellerin yansıma ve parlaklık değerlerine göre kullanıcı tarafından belirlenen gruplara bölünmesi işlemi (Sabuncu ve Sunar, 2017) olan bu sınıflandırma, uzaktan algılama verileri kullanılarak dünyadaki nesnelere hakkında bilgi edinebilmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. Görüntüler üzerinde o sınıfları temsil edecek piksellerin yansıma değerleri imza olarak belirlendikten sonra ERDAS Imagine yazılımında Maksimum Likelihood kontrollü sınıflandırma yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğunu değerlendirebilmek için kappa değerleri hesaplanmıştır. Her sınıfın alanı belirlenerek yıllara göre değişimi irdelenmiştir. Çalışmada izlenen iş akış diyagramı Şekil 3' te gösterilmiştir.

Elde edilen görüntüler orman, ziraat, açıklık, iskân ve su alanları olmak üzere beş ayrı grupta sınıflandırılmıştır. 2020 yılı ortofotosu ve sınıflandırılmış görüntüsü Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Çalışmanın iş akış diyagramı



Şekil 4. 2020 yılı ortofoto (a) ve sınıflandırılmış (b) görüntüsü

Arazi kullanımı/arazi örtüsünün zaman içindeki mekânsal değişimlerini göstermek amacıyla parça, arazi ve sınıf bazlı mekânsal analiz kriterlerini kullanarak parçalılık analizi yapılmıştır. Çalışma alanında 2005 yılından 2017 yılına kadar geçen sürede alansal değişim ve bu değişimin zamansal analizi için ArcGIS 10.5 yazılımında Patch Analyst ver. 5.2 eklentisi kullanılmıştır (Başkent ve Jordan, 1995; Yavuz ve Vatandaşlar, 2018).

Parçalılık analizi yapabilmek için ArcGIS üzerine parçalılık analizi 5.2 eklentisinin kurulumu sonrası “Add/Refresh Area and Perimeter fields” komutu kullanılarak alan değerleri güncellenmiş, analizi yapılacak yıllar için arazi kullanım sınıfları eşitlenmiştir. Alan değerleri güncellendikten sonra ise “Spatial Statistics” komutu kullanılarak arazi ve sınıf bazında parçalılık analizi yapılmıştır.

ArcGIS üzerinde yapılan parçalılık analizi için amenajman planı verilerinde bulunan meşcere tiplerine göre 2005 ve 2017 yıllarına ait arazi kullanımları açıklık, bozuk orman, iskân, maden ocağı, su, verimli orman ve ziraat olmak üzere 7 sınıfa ayrılmıştır. 2005 ve 2017 yılları için yapılan arazi sınıflandırmasına göre ArcGIS programında “dissolve” komutu kullanılarak birleştirme işlemi yapılmış; birleştirilen 2005 ve 2017 yıllarına ait haritalar “intersect” komutu kullanılarak kesiştirilmiş ve arazi kullanımı/arazi örtüsünde meydana gelen zamansal değişim ile geçişler ortaya konmuştur.

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1. Arazi örtüsü sınıflarının oluşturulması

Çalışma alanı Bursa Orman İşletme Müdürlüğü Kayapa ve Orhaneli Orman İşletme Müdürlüğü Karabayır, Karıncalı Orman İşletme Şefliklerine ait sınırlar arasında yer almaktadır. 2017 yılında yenilenen bu 3 şefliğin orman amenajman planları (OGM, 2005a; 2005b) verilerinden coğrafi bilgi sistemleri aracılığıyla çalışma alanı verileri analiz edilmiştir. Orman amenajman planında yer alan

meşcereler orman, ziraat, açıklık, iskân ve su alanları olmak üzere 5 ana grupta birleştirilmiştir. Bu grupların orman amenajman planlarına göre, Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzası sınırlarında kalan alanları Çizelge 1’de gösterilmiştir.

#### 3.2. Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk analizi

Hava fotoğrafları üzerinde yapılan kontrollü sınıflandırmanın doğruluk analizi amacıyla hata matrisleri hesaplanmıştır. Doğruluk analizi yapılabilmesi için her sınıfa en az 30 nokta atılması önerilmektedir (Kadioğulları ve Başkent, 2006). Her bir yıl için ayrı olarak yapılan doğruluk analizi işleminde 1997 yılına ait 4 sınıf için 120, 2011 ve 2020 yıllarına ait 5 sınıf için 150 olmak üzere toplam 420 nokta ERDAS Imagine 2015 yazılımı ile rastgele atılmıştır. Atılan her bir referans nokta için üretici (producer) ve kullanıcı (user) değerleri kontrol edilerek girilmiştir. Rastgele seçilen noktalarda sınıflandırılan görüntü ile referans kaynak karşılaştırılarak hata matrisi oluşturulmuştur. Bu işlemler sonucunda program doğruluk analizini otomatik olarak hesaplamış; çalışmanın başarısı kapa değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Kappa değeri  $\geq 0.6$  olduğunda uyum gücü güçlü olarak ifade edilmektedir (Munoz ve Bangdiwala, 1997).

Çizelge 2’de 1997 yılı hava fotoğrafına ait kontrollü sınıflandırmanın doğruluk analizi gösterilmektedir. Sınıflandırma doğruluğu %78.33, kapa istatistik değeri 0.711 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yapılan sınıflandırmanın başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3’te 2011 yılı hava fotoğrafına ait kontrollü sınıflandırmanın doğruluk analizi gösterilmektedir. Sınıflandırma doğruluğu %81.33, kapa istatistik değeri 0.766 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yapılan sınıflandırmanın başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4’te 2020 yılı hava fotoğrafına ait kontrollü sınıflandırmanın doğruluk analizi gösterilmektedir. Sınıflandırma doğruluğu %90.67, kapa istatistik değeri 0.883 olarak hesaplanmıştır. Bu değer sınıflandırmanın başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 1. Orman amenajman planı meşcerelerinin grup adları ve alanları

| Grup adı | Meşcere karşılığı   | Alan (ha) |
|----------|---|-----------|
| Orman    | Verimli orman, Bozuk orman, Kadastro dışı ağaçlık alanlar | 6944.0    |
| Ziraat   | Tarım ve 2B arazileri                                     | 1460.3    |
| Açıklık  | Ağaçsız orman toprağı, Ocak, Yol, Kayalık, Taşlık         | 311.9     |
| İskân    | İskân ve tesis  | 72.0      |
| Su       | Nehir, Baraj  | 305.3     |
| Toplam   |   | 9093.5    |

Çizelge 2. 1997 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk analizi

| Grup adı                | İskân  | Orman  | Açıklık | Ziraat | Toplam sınıflandırılmış nokta |
|-------------------------|--------|--------|---------|--------|-------------------------------|
| İskân                   | 9      | 0      | 19      | 2      | 30                            |
| Orman                   | 0      | 29     | 0       | 1      | 30                            |
| Açıklık                 | 0      | 0      | 29      | 1      | 30                            |
| Ziraat                  | 0      | 2      | 1       | 27     | 30                            |
| Toplam Referans nokta   | 9      | 31     | 49      | 31     | 120                           |
| Üretici Doğruluğu (%)   | 100    | 93.55  | 59.18   | 87.09  | 78.33                         |
| Kullanıcı Doğruluğu (%) | 30     | 96.67  | 96.67   | 90     | 78.33                         |
| Kappa                   | 0.2432 | 0.9551 | 0.9437  | 0.8652 | 0.7111                        |

Çizelge 3. 2011 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk analizi

| Grup adı                | İskân  | Açıklık | Su     | Ziraat | Orman  | Toplam Sınıflandırılmış Nokta |
|-------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|-------------------------------|
| İskân                   | 26     | 1       | 1      | 1      | 1      | 30                            |
| Açıklık                 | 1      | 24      | 2      | 1      | 2      | 30                            |
| Su                      | 2      | 1       | 23     | 2      | 2      | 30                            |
| Ziraat                  | 1      | 0       | 2      | 25     | 2      | 30                            |
| Orman                   | 0      | 2       | 0      | 4      | 24     | 30                            |
| Toplam Referans Nokta   | 30     | 28      | 28     | 33     | 31     | 150                           |
| Üretici Doğruluğu (%)   | 86.67  | 85.71   | 82.14  | 75.75  | 77.42  | 81.33                         |
| Kullanıcı Doğruluğu (%) | 86.67  | 80      | 76.67  | 83.33  | 80     | 81.33                         |
| Kappa                   | 0.8333 | 0.7541  | 0.7131 | 0.7863 | 0.7479 | 0.7667                        |

Çizelge 4. 2020 yılına ait sınıflandırmanın doğruluk analizi

| Grup adı                | Su    | Ziraat | İskân  | Orman | Açıklık | Toplam Sınıflandırılmış Nokta |
|-------------------------|-------|--------|--------|-------|---------|-------------------------------|
| Su                      | 28    | 0      | 0      | 2     | 0       | 30                            |
| Ziraat                  | 0     | 28     | 0      | 2     | 0       | 30                            |
| İskân                   | 0     | 4      | 21     | 1     | 4       | 30                            |
| Orman                   | 0     | 0      | 0      | 30    | 0       | 30                            |
| Açıklık                 | 0     | 0      | 0      | 1     | 29      | 30                            |
| Toplam                  | 28    | 32     | 21     | 36    | 33      | 150                           |
| Üretici Doğruluğu (%)   | 100   | 87.5   | 100    | 83.33 | 87.88   | 90.67                         |
| Kullanıcı Doğruluğu (%) | 93.33 | 93.33  | 70     | 100   | 96.67   | 90.67                         |
| Kappa                   | 0.918 | 0.9153 | 0.6512 | 1     | 0.9573  | 0.8833                        |

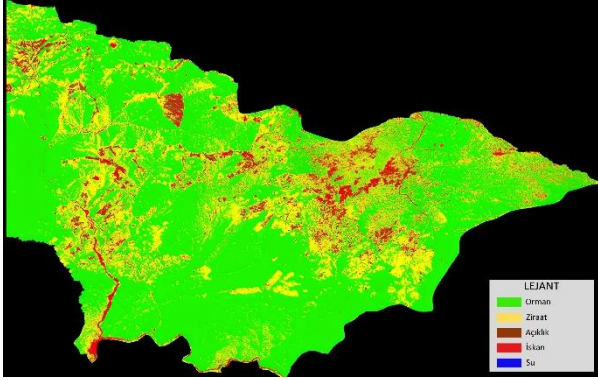
Hesaplanan kappa değerlerinin uyumu Landis ve Koch (1977)'a göre 1997 ve 2011 yılı için iyi (0.61-0.80); 2020 yılı için ise çok iyi (0.81-1.00) seviyededir. Kappa değerleri sınıflandırmanın başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Sapanca Gölü Havzası'nda arazi kullanımı ve mekânsal değişimin izlendiği çalışmada Landsat-5TM, Landsat-8 OLI/TIRS algılayıcılarına ait görüntüler sınıflandırma işlemlerine tabi tutulmuş; 1985-1995-2005-2020 yıllarına ait genel doğruluk değerleri sırasıyla %89-%92-%92-%93, kappa istatistik değerleri ise 0.85-0.89-0.89 ve 0.91 olarak hesaplanmıştır (Kaçmaz ve Döker, 2021). Irak'ın Kalar bölgesinde arazi kullanımının 2000, 2007 ve 2015 yıllarındaki değişimini belirlemek amacıyla haritaların üretiminde kontrollü sınıflandırmaya ait doğruluk analizi kappa testi ile gerçekleştirilmiştir. Yıllara göre sırasıyla genel doğruluk değeri %83, %85, %89 ve kappa istatistik değeri 0.80, 0.85, 0.87 olarak bulunan çalışmada kontrollü sınıflandırma iyi düzeyde uyum göstermiştir (Al-Zangana, 2017). Urmiye Gölü ve Acıgöl'ün 1975-2010 yılları arasındaki su yüzeyi değişimleri ve çevrelerindeki arazi kullanım özelliklerinin belirlendiği çalışmada da yapılan sınıflandırma işlemleri ile elde edilen kappa değerlerine ait sonuçların yüksek doğrulukta olduğu tespit edilmiştir (Akar,

2011). Manisa-Köprübaşı ilçesi arazi kullanım değişiminin incelendiği bir diğer çalışmada da kontrollü sınıflandırmanın genel doğruluğu ve kappa değeri sırasıyla 2008 yılı için %84 ve 0.76; 2013 yılı için %79 ve 0.71; 2017 yılı için %87 ve 0.81 bulunmuştur. Bu üç yıl için kontrollü sınıflandırmanın iyi düzeyde uyum gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır (Yılmaz vd., 2018).

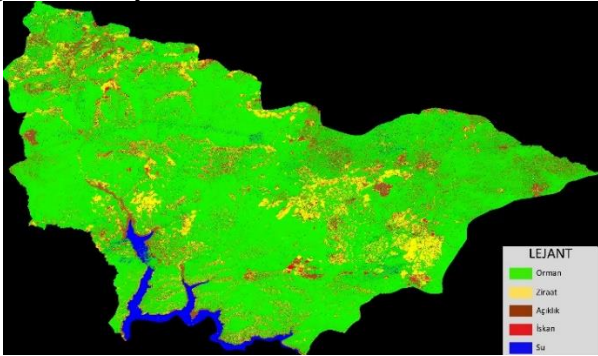
### 3.3. Hava fotoğraflarına göre arazi kullanımının değişimi

1997 yılına ait sınıflandırılmış görüntüde Çınarcık Barajı henüz inşa edilmediği için su ile kaplı alan bulunmadığından 4 sınıf, 2011 ve 2020 yıllarına ait görüntülerde ise 5 sınıf bulunmaktadır (Şekil 5, 6, 7). 1997 yılına ait görsellerdeki görüntü farklılığı sol üst kısımda yer alan yaklaşık 475 ha'lık alana ait hava fotoğrafı verisi temin edilememesinden kaynaklanmaktadır, bu alan sınıflamaya dâhil edilememiştir. Orman, ziraat, açıklık, iskân ve su olmak üzere sınıflandırma alanlarının büyüklükleri Çizelge 5'de gösterilmiştir. Arazi kullanım durumunu yıllara göre (Çizelge 5) incelediğimizde orman alanları 1997 yılında 5304.8 ha iken 2011 yılında 6337.9 ha'a çıkmış ve 2020 yılında 5694.7 ha'a gerilemiştir. Ziraat alanları ise 1997 yılında 2452.7 ha iken 2011 yılında

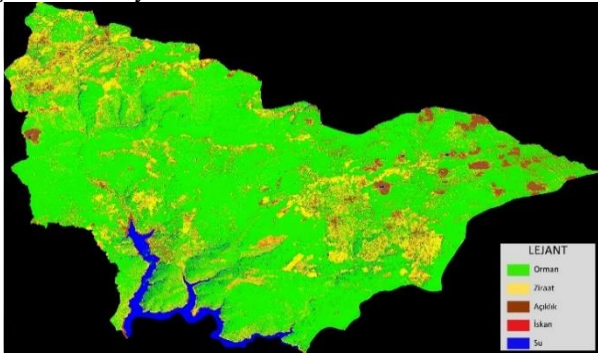
1120 ha'a kadar düşmüş, 2020 yılında ise tekrar 1924.2 ha'a yükselmiştir. Açıklık alanlar 1997 yılında 617.0 ha iken 2011 yılında 1003.1 ha'a, 2020 yılında ise 1052.1 ha'a yükselmiştir. İskân alanları 1997 yılında 243.4 ha iken 2011 yılında 298.1 ha'a çıkmış, 2020 yılında ise 53.9 ha'a kadar önemli bir düşüş tespit edilmiştir. Su alanları ise 2011 yılında 334.4 ha iken 2020 yılında 368.6 ha'a yükselmiştir.



Şekil 5. 1997 yılı arazi örtüsü sınıfları



Şekil 6. 2011 yılı arazi örtüsü sınıfları



Şekil 7. 2020 yılı arazi örtüsü sınıfları

Çizelge 5. Hava fotoğraflarına göre arazi kullanım sınıflarının alansal dağılımı

| Arazi Kullanımı | 1997   | 2011   | 2020   |
|-----------------|--------|--------|--------|
| Orman           | 5304.8 | 6337.9 | 5694.7 |
| Ziraat          | 2452.7 | 1120   | 1924.2 |
| Açıklık         | 617.0  | 1003.1 | 1052.1 |
| İskân           | 243.4  | 298.1  | 53.9   |
| Su              | -      | 334.4  | 368.6  |
| Toplam          | 8617.9 | 9093.5 | 9093.5 |

Çınarcık Barajı'nın yapılması ile arazi kullanımı/arazi örtüsü değişen çalışma sahasının su alanlarında 368.6 ha kadar artış görülmektedir. Çalışma alanının büyük bir kısmını içine alan Bursa ili Orhaneli ilçesinin yıllara göre nüfus değişimi göz önüne alındığında 1990 ve 2000 yılları itibari ile Orhaneli ilçe nüfusu yaklaşık 30000 kişi iken, 2020 yılında 19000 kişi olarak açıklanmıştır (TÜİK, 2022).

Nüfustaki bu azalmanın arazi kullanımına ve örtüsüne de etki ettiği görülmektedir. Orhaneli ilçesinin göç verdiğini gösteren rakamlar, 1997 yılında 243.4 ha olan iskân alanının 2020 yılında 53.9 ha olarak tespit edilmesini desteklemektedir. Nüfustaki bu değişimin ziraat alanlarının azalması üzerinde de etkili olduğu düşünülmektedir. Ziraat alanlarının 2011 yılı verilerinde 1997 yılına göre önemli bir azalma görülürken, 2020 yılında yeniden bir artış eğilimi görülmektedir. 2011 yılında ziraat alanlarında meydana gelen kayıpta, diğer tüm arazi kullanımlarındaki artışın da payı olduğu düşünülmektedir.

1997 yılında 617 ha olarak tespit edilen genellikle taşlık, kayalık arazilerden, orman içi açıklıklardan ve birkaç tane maden sahasından oluşan açıklık alanlar 2020 yılında 1052.1 ha'a kadar çıkmıştır. Bu durumun çalışma alanında faaliyet göstermeye başlayan 15-20 adet maden ocağının etkisi ile gerçekleştiği düşünülmektedir.

1997 yılı sınıflandırılmış arazi kullanımı/arazi örtüsünde 5304.8 ha olan ormanlık alanlar, 2011 yılında 6337 ha, 2020 yılında 5694.7 ha olarak tespit edilmiştir. Çalışma alanında azalan nüfus ile birlikte orman varlığı üzerindeki baskının azalmasının yanı sıra bozuk ormanların rehabilitasyonunun ve ağaçlandırma çalışmalarının bu değişimde etkili olduğu düşünülmektedir.

Hava fotoğrafları ile alansal değişimlerin ortaya konduğu benzer çalışmalarda da alanlara ait bölgesel özellikler ve yıllar baz alındığında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Karagöl-Sahara Milli Parkı'nda 45 yıllık (1971-2015) değişimin memleket haritaları, meşcere haritaları ve hava fotoğrafları ile ortaya konduğu çalışmada verimli orman alanları 1357 ha'dan 1002 ha'a düşerken, bozuk ormanlar 46 ha'dan 196 ha'a, orman içi boşluklu alanlar 368 ha'dan 517 ha'a, ziraat alanları 127 ha'dan 158 ha'a, mera alanları 1307 ha'dan 1353 ha'a çıkmıştır. İskân alanlarında da % 49 oranında azalma meydana gelmiştir (Yavuz ve Vatandaşlar, 2018). Gelibolu Yarımadası'nın kuzeybatı kıyılarındaki arazi kullanım değişiminin incelendiği bir diğer çalışmada 1970'li yıllara kadar kıyılara sokulan ve çoğunlukla buğday-ayçiçeği yetiştiriciliği yapılan ziraat alanlarının, özellikle 1980'li yıllardan sonra kooperatif evlerinin inşa edilmesiyle daralmaya maruz kaldığı belirtilmiştir. 1962 yılına ait hava fotoğrafları üzerinde yapılan incelemelerde, yalnızca 13.04 ha alan kaplayan yerleşim alanlarının 2005 yılında 255.2 ha'a ulaşarak yaklaşık 19.5 kat genişlediği tespit edilmiştir (Akbulak vd., 2008). Giresun ili sınırlarındaki bazı yaylalara ait 1970, 2008 ve 2018 yılları hava fotoğraflarından yararlanılarak arazi kullanım değişiminin analiz edildiği çalışmada Kümbet Yaylası'nda 1970 yılında yayla merkez kullanım alanının 5.41 ha'dan % 471 oranında artarak 2008 yılında 15.73 ha'a, 2018 yılında ise 25.50 ha ulaştığı; Bektaş Yaylası'nda 1970 yılında 34.96 ha'dan % 183 oranında artarak 2008 yılında 50.73 ha'a, 2018 yılında ise 63.81 ha'a ulaştığı tespit edilmiştir (Başer, 2019).

### 3.4. Meşcere tipi haritalarına göre arazi örtüsü değişimi, arazi kullanımındaki geçişler ve parçalılık analizi

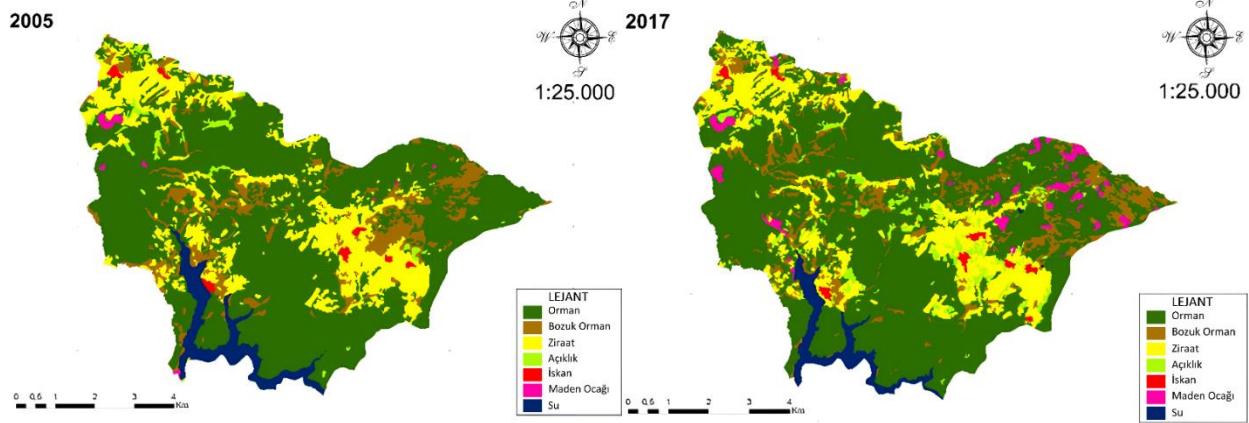
Çalışma alanı amenajman planlarına (OGM, 2005a; 2005b) ait meşcere tipi haritalarının irdelenmesi sonucu elde edilen arazi örtüsü sınıflarına göre (Şekil 8) 2005 ve 2017 yılları arasındaki geçişler incelendiğinde maden sahalarına bozuk orman alanlarından 34 ha, verimli orman alanlarından ise 142.8 ha geçiş olmuştur. Termik santral faaliyetinin 1990-2018 yılları arasında arazi örtüsü ve kullanım sınıflarına olan etkisinin incelendiği çalışmada da 319 ha olan maden çıkarım sahalarının, 176 ha tarımsal ve 124 ha orman ve yarı doğal alanların kaybı ile oluştuğu saptanmıştır (Karagöz ve Ünlükaplan, 2024). Su alanları incelendiğinde ise ziraat alanlarına 16.1 ha, verimli orman alanlarına 88.7 ha geçiş olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak tüm alan analiz edildiğinde; verimli orman alanları 142.2 ha, su ile kaplı alanlar 101.4 ha ve ziraat alanları 199 ha azalmıştır. Maden alanlarında 167.5 ha, açıklık alanlarda 229.2 ha, iskân alanlarında 11.5 ha ve bozuk orman alanlarında ise 34.4 ha artış meydana gelmiştir (Çizelge 6).

Orman alanları ve konumsal yapıda bulunan köklü değişimler incelendiğinde parça sayısı (NP) yükselmekte ve

ortalama parça büyüklüğü (MPS) azalmaktadır. Çalışma alanı tümüyle değerlendirildiğinde parçalılık değerlerinin arttığı ve çalışma sahasının daha kırılğan bir yapı gösterdiği görülmektedir. Buna karşılık verimli ormanlarda arazi kullanım tipi alanı (CA) değeri ve MPS değeri azalmaktadır. Kenar yoğunluğu (ED) değeri ve alan ağırlıklı ortalama şekil katsayısı (AWMSI) değeri de artmaktadır. 2005 ve 2017 yılı arazi örtüsü sınıfları haritasına yapılan konumsal analiz sonucunda; sınıf alanı bazında, CA değeri verimli ormanlık alanda 5912.2 ha'dan 5770 ha'a, ziraat alanında 1659.5 ha'dan 1460.5 ha'a, su ile kaplı alanda 40.7 ha'dan 305.3 ha'a düşmüştür. Açıklık alanlar 113.6 ha'dan 342.8 ha'a, maden ocakları 37.2 ha'dan 204.7 ha'a, iskân alanları 58.1 ha'dan 69.6 ha'a, bozuk orman alanları 906.2 ha'dan 940.6 ha'a yükselmiştir. Verimli ormanlık alandaki miktar azalışına rağmen NP değerinin 62'den 85'e kadar çıkmış olması ile MPS 27.48 ha azalmıştır. Arazi ölçeğinde NP 365'den 608'e kadar tüm alanda artmış ve buna bağlı olarak da MPS 9.96 ha azalmıştır. NP, AWMSI değerlerinin toplam alan (arazi) bazında artması ve MPS değerinin azalması alanın parçalandığını ve daha düzensiz bir yapıya doğru gittiğini göstermektedir (Çizelge 7).

Çizelge 6. Çalışma alanına ilişkin 2005 – 2017 yılları arazi örtüsü sınıfları

| Arazi Örtüsü (ha)    | Açıklık (2017) | Bozuk Orman (2017) | İskân (2017) | Maden Ocağı (2017) | Su (2017) | Verimli Orman (2017) | Ziraat (2017) | Toplam | 2005-2017 (ha) | 2005-2017 (%) |
|----------------------|----------------|--------------------|--------------|--------------------|-----------|----------------------|---------------|--------|----------------|---------------|
| Açıklık (2005)       | 6.3            | 14.9               | 0            | 0                  | 1.7       | 61.3                 | 29.4          | 113.6  | 229.2          | 201.8         |
| Bozuk Orman (2005)   | 40.5           | 200.6              | 1.3          | 34                 | 5.9       | 500.1                | 123.8         | 906.2  | 34.4           | 3.8           |
| İskân (2005)         | 3.3            | 7.6                | 24.3         | 0.9                | 0         | 0.3                  | 21.7          | 58.1   | 11.5           | 19.8          |
| Maden Ocağı (2005)   | 5              | 2.2                | 0            | 16.2               | 1.5       | 10.7                 | 1.6           | 37.2   | 167.5          | 450.3         |
| Su (2005)            | 3.1            | 19.2               | 4.2          | 0                  | 275.4     | 88.7                 | 16.1          | 406.7  | -101.4         | -24.9         |
| Verimli Orman (2005) | 149.1          | 569.2              | 4.6          | 142.8              | 19.8      | 4654.2               | 372.5         | 5912.2 | -142.2         | -24.1         |
| Ziraat (2005)        | 135.5          | 126.9              | 35.2         | 10.8               | 1         | 454.7                | 895.4         | 1659.5 | -199           | -11.9         |
| Toplam               | 342.8          | 940.6              | 69.6         | 204.7              | 305.3     | 5770                 | 1460.5        | 9093.5 |                |               |



Şekil 8. Amenajman planı verilerine göre 2005 ve 2017 yılları arazi örtüsü



Çizelge 7. Çalışma alanı arazi kullanım metriklerinin yıllara göre değişimi

| Arazi Kullanım Sınıfları | CA (ha) |        | NumP   |        | MPS (ha) |        | ED (m ha <sup>-1</sup> ) |        | AWMSI |       | PERCLAND (%) |      |
|--------------------------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|--------------------------|--------|-------|-------|--------------|------|
|                          | 2005    | 2017   | 2005   | 2017   | 2005     | 2017   | 2005                     | 2017   | 2005  | 2017  | 2005         | 2017 |
| Açıklık                  | 113.6   | 342.8  | 26.00  | 145.00 | 4.37     | 2.36   | 3.30                     | 15.29  | 1.95  | 2.22  | 1.2          | 3.8  |
| Bozuk Orman              | 906.2   | 940.6  | 113.00 | 216.00 | 8.02     | 4.35   | 23.12                    | 33.72  | 3.66  | 3.05  | 10.0         | 10.3 |
| İskân                    | 58.1    | 69.6   | 7.00   | 8.00   | 8.28     | 8.70   | 1.03                     | 1.42   | 1.33  | 1.58  | 0.6          | 0.8  |
| Maden Ocağı              | 37.2    | 204.7  | 8.00   | 37.00  | 4.65     | 5.53   | 0.81                     | 5.14   | 1.54  | 1.77  | 0.4          | 2.3  |
| Su                       | 406.7   | 305.3  | 1.00   | 3.00   | 406.76   | 101.77 | 3.57                     | 3.30   | 4.54  | 4.68  | 4.5          | 3.4  |
| Verimli Orman            | 5912.2  | 5770   | 62.00  | 85.00  | 95.36    | 67.88  | 42.83                    | 55.01  | 10.55 | 11.80 | 65.0         | 63.5 |
| Ziraat                   | 1659.5  | 1460.5 | 148.00 | 114.00 | 11.21    | 12.81  | 28.12                    | 29.54  | 4.35  | 4.95  | 18.2         | 16.1 |
| Toplam                   | 9093.5  | 9093.5 | 365.00 | 608.00 | 24.92    | 14.96  | 102.77                   | 143.43 | 8.26  | 8.89  | 100          | 100  |

CA: Arazi kullanım tipi alanı, NumP: Parça sayısı, MPS: Ortalama parça büyüklüğü, ED: kenar yoğunluğu, AWMSI: Alan ağırlıklı ortalama şekil katsayısı, PERCLAND: Sınıf alan yüzdesi

Amenajman planlarına ait veriler ile zamana bağlı alansal değişimlerin ortaya konduğu benzer çalışmalarda da, sayısallaştırılmış meşcere tipi haritalarının arazi kullanımı/razi örtüsü değişikliğini tespit etmede tercih edilebilecek bir yöntem olduğu ifade edilmektedir. 1972, 2004-2006 ve 2017 yılları plan verilerine ait sonuçlarda 45 yıllık dönemde orman alanlarında %4.5 oranında artış olduğu belirtilmiştir (Sönmez vd., 2022). Karagöl-Sahara Milli Parkı içerisindeki habitatların arazi deseninin parçalılık analizi sonucuna göre parça yoğunluğu verimli ormanlarda 1971, 1984 ve 2015 yıllarında sırasıyla 1.3; 1.7 ve 2.8 adet/ 100-ha bulunmuştur. Yıllar itibarıyla su alanlarında bir parçalanma görülmezken, bozuk orman ve ziraat sınıflarında yaklaşık iki kat (%213), iskân sahalarında ise %150 oranında bir parçalanma artışı olduğu; tüm milli park sahası içerisindeki habitatların 1971'de 91, 1984'te 62 ve 2015 yılında 233 adet parçaya bölündüğü tespit edilmiştir (Yavuz ve Vatandaşlar, 2018). Orman kaynaklarının konumsal yapısındaki değişimin belirlendiği bir diğer çalışmada, kırsal nüfusun çok hızlı azalması nedeniyle orman alanları üzerindeki baskının azaldığı ve buna paralel olarak ormanlık alanlarda 1987 ve 2010 yılları arasında tüm alanda %5.73 oranında artış tespit edildiği, yıllık ormanlaşma oranının ise %1.52 oranında gerçekleştiği belirtilmiştir. NP ve AWMSI değerleri artsa da, ormanlık alandaki artışa bağlı olarak MPS artışının orman ekosisteminin 1987 ve 2010 yılları arasında daha dayanıklı bir yapıya doğru ilerlemesine katkıda bulunduğu sonucuna varılmıştır (Kadioğulları, 2012). Yine benzer bir çalışmada, İnegöl bölgesinde 1972 ile 1993 yılları arasında orman niteliği taşıyan alanlar %3.77 oranında, 1993 ve 2004 yılları arasında %3.39 oranında, 1972 ve 2004 yılları arasında %7.12 oranında, 1987 ve 2001 yılları arasında ise %4.73 oranında artmıştır (Kadioğulları ve Başkent, 2006).

Elde edilen sonuçların farklı aralıklarda yer almasında, ekolojik koşulların yanı sıra antropojenik etkilerdeki değişkenliğin de etkisi olduğu düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve öneriler

Farklı ekosistemleri barındıran, hidrolojik birimler olarak tanımlanan havzalar, kendilerine özgü nitelikleri ve sahip oldukları doğal kaynak değerleri ile birbirlerinden ayrılırlar. Ülkemiz arazi varlığı da göz önüne alındığında, başta su üretimi ve toprak koruma olmak üzere sahip olduğu kaynaklar doğrultusunda çok yönlü kullanım imkânı sunan havza alanlarının yönetimi önem arz etmektedir. Kaynakların kullanımını yönlendirme ve organize etme süreci olarak tanımlanan havza yönetiminde ise arazi kullanımında zamanla meydana gelen değişimin miktar ve konumsal olarak sayısal bazda belirli parametreler ile ortaya konması, havza kaynaklarının sürdürülebilir planlanması ve yönetilebilmesi için oldukça önemlidir. Bu amaçla Bursa için önemli su

kaynaklarından biri olan Çınarcık Baraj Gölü yukarı havzasına ait zamansal değişim incelenmiştir.

Çalışma alanı hava fotoğraflarına göre 5 ayrı grupta (orman, ziraat, açıklık, iskân, su) sınıflandırılırken, parçalılık analizi için amenajman planı verilerinde bulunan meşcere tipleri 7 sınıfa (verimli orman, bozuk orman, ziraat, açıklık, iskân, maden ocağı, su) ayrılarak incelenmiştir.

Fakat 1997 yılına ait sınıflandırılmış görüntülerde su alanları görülmediğinden 4 sınıf bulunmaktadır. Ancak 2008 yılında işletmeye açılmış olan Çınarcık Barajı ve Orhaneli Çayı'na ait suların birikmesi nedeniyle arazi kullanımı/razi örtüsü değişen çalışma sahasında, 2011 yılı sınıflandırılmış alan verilerinde 9093.5 ha çalışma alanının 334.4 ha'ı su alanları ile kaplanmış, bu değer 2020 yılında 368.6 ha'a ulaştığı tespit edilmiştir.

1997, 2011 ve 2020 yıllarına ait hava fotoğrafları üzerinde gerçekleştirilen sınıflandırma doğruluğu sırasıyla %78.33, %81.33, %90.67; kapa istatistik değeri 0.711, 0.766, 0.883 olarak bulunmuştur. Elde edilen kapa istatistik değerleri 1997 ve 2011 yılı için iyi (0.61-0.80); 2020 yılı için ise çok iyi (0.81-1.00) seviyededir. Bu değerler sınıflandırmanın başarılı olduğunu ortaya koyarken, uzaktan algılama veri ve tekniklerinin havza yönetimi ve planlama çalışmalarında önemli bir yeri olan arazi kullanımları ve değişimlerinin tespitinde yüksek doğruluk oranları ile tercih edilebileceğini de göstermektedir. Bu teknolojiler arazi kullanım eğilimlerini izleyebilme, yönetebilme, ilgili çalışmalarda karar alabilme olanağı sağlarken; gerekli önlemlerin alınması aşamasında da önemli katkılar sağlayabilecektir.

Sınıflandırılmış arazi kullanımı/razi örtüsü incelendiğinde 1997 yılında 5304.8 ha olan orman alanları, araştırma alanındaki bozuk ormanların rehabilitasyonu ve ağaçlandırma çalışmalarının etkisiyle 2020 yılında 5694.7 ha'a ulaşarak artış göstermiştir. 1997 yılında 2452.7 ha tespit edilen ziraat alanları 2020 yılında 1924.2 ha'a kadar düşmüştür. Açıklık ve orman alanlarındaki artış göz önünde bulundurulduğunda ziraat alanlarının terk edildiği ve buna sosyoekonomik değişimin sebep olduğu düşünülmektedir. 1997 yılında 617 ha olan açıklık alanları ise 2020 yılı itibarı ile 1052.1 ha'a kadar çıkmıştır. Bu zaman aralığında çalışma alanında faaliyet göstermeye başlayan 15-20 adet maden ocağının bu artışta etkisi olduğu düşünülmektedir. 1997 yılında 243.4 ha olan iskân alanı 2020 yılında 53.9 ha olarak tespit edilmiştir. Bu durum 1990 ve 2000 yılları itibarı ile yaklaşık 30000 kişi olan Orhaneli ilçe nüfusunun 2020 yılında 11000 kişi azalarak 19000 kişiye düşmesiyle açıklanabilir.

Çalışma alanına ait meşcere tipi haritalarının irdelenmesi sonucu elde edilen arazi örtüsü sınıflarına göre 2005 ve 2017 yılları arasındaki geçişler incelendiğinde maden sahalarına bozuk orman alanlarından 34 ha, verimli orman alanlarından

ise 142.8 ha geçiş olmuştur. Su alanları incelendiğinde ise ziraat alanlarına 16.1 ha, verimli orman alanlarına 88.7 ha geçiş olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak tüm alan analiz edildiğinde; verimli orman alanları 142.2 ha, su ile kaplı alanlar 101.4 ha ve ziraat alanları 199 ha azalmıştır. Maden alanlarında 167.5 ha, açıklık alanlarda 229.2 ha, iskân alanlarında 11.5 ha ve bozuk orman alanlarında ise 34.4 ha artış meydana gelmiştir. Orman, ziraat ve su ile kaplı alanlar sırasıyla %24.1, %11.9 ve %24.9 oranında tüm alanda azalmıştır. Maden ocakları %450.3, açıklık alanlar %201.8, iskân alanları %19.8, bozuk orman alanları ise %3.8 artmıştır.

2005 ve 2017 yılı arazi örtüsü sınıfları haritasına yapılan konumsal analiz sonucunda; sınıf alanı bazında, verimli ormanlık alan CA değeri 5912.2 ha'dan 5770 ha'a, ziraat alanı 1659.5 ha'dan 1460.5 ha'a, su ile kaplı alan 40.7 ha'dan 305.3 ha'a düşmüştür. Açıklık alanlar 113.6 ha'dan 342.8 ha'a, maden ocakları 37.2 ha'dan 204.7 ha'a, iskân alanları 58.1 ha'dan 69.6 ha'a, bozuk orman alanları 906.2 ha'dan 940.6 ha'a yükselmiştir. Azalışın toplam alandaki miktarı ziraat alanları için %2.1, orman alanları için %1.5, su ile kaplı alanlar için %1.1 bulunmuştur. Maden ocakları, iskân alanları, bozuk orman ve açıklık alanlar ise sırasıyla % 1.9, %0.2, %0.3 ve %2.6 oranında tüm alanda artmıştır. Verimli ormanlık alandaki miktar azalışına rağmen NP değerinin 62'den 85'e çıkmış olması ile MPS 27.48 ha azalmıştır. Arazi ölçeğinde NP 365'den 608'e kadar tüm alanda artmış ve buna bağlı olarak MPS 9.96 ha azalmıştır. NP, AWMSI değerlerinin toplam alan (arazi) bazında artması ve MPS değerinin azalması alanın parçalandığını ve daha düzensiz bir yapıya doğru gittiğini göstermektedir.

Orman alanları ve konumsal yapıda bulunan köklü değişimler incelendiğinde parça sayısı artarken ortalama parça büyüklüğü azalmaktadır. Çalışma alanı tümüyle değerlendirildiğinde parçalılığın arttığı ve çalışma sahasının daha kırılğan bir yapı gösterdiği görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar neticesinde havza yönetimi ve planlama çalışmalarında doğal kaynakların etkin ve sürdürülebilir planlanması için zamansal değişimin, özellikle konumsal yapı ve miktar itibarıyla belirlenebilmesinin önem arz ettiği görülmektedir. Değişimde etkili faktörlerin ortaya konması da ayrıca önemlidir. Araştırma sonuçlarının denetleyici ve düzenleyici kamu kurumlarına sağlayacağı alt yapı desteğinin yanı sıra bölgedeki yatırımcı kuruluşlara bilgi desteği sağlayarak planlama çalışmalarına katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü hem doğal hem de antropojenik nedenlerle zaman içinde değişmektedir. Nüfustaki artış, arazi kullanımı ve örtüsündeki hızlı değişiklikleri de beraberinde getirirken ormanlık alanlar, ziraat alanları ve meralar bozulmakta; kentleşme ve sanayileşme kontrolsüz bir şekilde artmakta; bunlarla birlikte su kaynaklarının miktar ve kalitesinde de önemli değişiklikler olmaktadır. Yerel ve bölgesel ekosistemlerin devamlılığı bakımından oldukça önemli bir paya sahip havzaların korunabilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için konumsal ve zamansal değişimlerin takibi önem arz etmekte ve önerilmektedir.

## Açıklama

Bu çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim dalında yürütülmüş olan "Çınarcık Barajı Ana Dere Bağlantılı Bazı Alt Havzalarının Arazi Örtüsü Değişiminin Uzaktan Algılama Teknikleri ile Analizi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü Bursa Orman Bölge Müdürlüğü ile T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'ne çalışmada kullanılan verilerin sağlanmasındaki katkılarından, Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Emre Kılınçarslan'a ve Arş. Gör. Ömer Faruk Karan'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## Kaynaklar

- Akar, İ., 2011. Çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak Acıgöl (Türkiye)-Urmiye (İran) Göllerinde su yüzeyi değişimleri ve yakın çevresinde arazi kullanımının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Ortadoğu Araştırmaları Enstitüsü, İstanbul.
- Akbulak, C., Erginal, A. E., Öztürk, B., 2008. Gelibolu Yarımadası'nın kuzeybatı kıyılarında arazi kullanımının uzaktan algılama ile incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20: 41-50.
- Al-Zangana, K.A.M., 2017. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişiminin CBS ve uzaktan algılama kullanılarak belirlenmesi: Kalar bölgesi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Babalık, A.A., 2002. Isparta yöresinde arazi kullanımına ilişkin sorunlar. Turkish Journal of Forestry, 1: 63-81. <https://doi.org/10.18182/tjf.11214>
- Başer, V., 2019. Yaylalardaki arazi kullanım değişiminin coğrafi bilgi sistemi ile analizi: Giresun örneği. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8 (1): 167-175. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.446264>
- Başkent, E.Z., Jordan, J.A., 1995. Characterizing spatial structural of forest landscape. Canadian Journal of Forest Research, 25 (11): 1830-1849.
- Campbell, M.M., 1998. Schools of thought: An analysis of interest groups influential in international population policy. Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies. 19(6) : 487-512.
- Cohen, W.B., Fiorella, M., 1998. Comparison of methods for detecting conifer forest change with Thematic Mapper imagery. In Remote Sensing Change Detection: Environmental Monitoring Applications and Methods (Ed., C. Elvidge and R. Lunetta), Ann Arbor: Ann Arbor Press, pp. 89-102.
- Cruz, M.C.J., 1994. Population pressure and land degradation in developing countries. In: Population, Environment and Development, United Nations, New York, pp. 135-147.
- Çölkesen, İ., 2009. Uzaktan algılamada ileri sınıflandırma tekniklerinin karşılaştırılması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2023a. Farklı Arazi Kullanım Durumlarında Geotekstil Kullanılarak Erozyonla Kaybolan Toprak Miktarının Belirlenmesi: Karam Dere Alt Havzası Örneği. Turkish Journal of Forest Science, 7(2): 138-154.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2023b. Burdur Gölü Havzasındaki morfolometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 25-38.
- Erdoğan, M.A., Sönmez, F., Berberoğlu, S., 2014. Baraj göllerinde su seviyelerinin uzaktan algılama ve cbs ile tahmini ve izlenmesi: Adana Seyhan Baraj Gölü örneği. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS), 14-17 Ekim, İstanbul.

- Erdoğan Yüksel, E., Karan, Ö.F., 2024. Thornthwaite yöntemine göre iklim tiplerinin belirlenmesi: Bursa ili örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 25 (1): 151-168. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.1435376>
- ESRI, 2015. Environmental Systems Research Institute, ArcGIS Desktop: Release 10.5.1, Redlands, CA, USA.
- Güre, M., Özel, M.E., Özcan, H., 2009. Corine arazi kullanımı sınıflandırma sistemine göre Çanakkale ili. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (3): 37-48.
- HGM, 2022. Harita Genel Müdürlüğü, 1/15.000-1/30.000-1/60.000 Ölçekli Hava Fotoğrafları.
- Kaçmaz, M., Döker, M.F., 2021. Sapanca Gölü Havzası'nda arazi kullanımı ve mekansal değişim. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 19(1): 161-194. <https://doi.org/10.33688/aucbd.872216>
- Kadioğulları, A.İ., Başkent, E.Z., 2006. Orman kaynaklarının konumsal ve zamansal değişiminin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri ile incelenmesi: İnyet ve Yenice örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3): 378-390.
- Kadioğulları, A.İ., 2012. Tunceli ilinin arazi örtüsünün konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1): 1-12.
- Karagöz, E.D., Ünlükaplan, Y., 2024. Termik santrallerinin peyzaj çeşitliliği üzerindeki etkilerinin matematiksel olarak ifade edilmesi Yeniköy-Kemerköy Termik Santrali örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 39(1): 51-160. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1162809>
- Kuru, A., Tezer, A., 2020. İçme suyu havzası koruma sınırlarının belirlenmesine yeni yöntem önerisi: Kırklareli barajı içme suyu havzası örneği. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1): 519-536. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.486855>
- Landis, R., Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 159-174.
- McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- MGM, 2022. Bursa ili iklim verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir 3. Bölge Müdürlüğü, Ankara.
- Munoz, S.R., Bangdiwala, S. I., 1997. Interpretation of Kappa and B statistics measures of agreement. *Journal of Applied Statistics*, 24(1), 105-112.
- OGM, 2005a. Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Bursa Orman İşletme Müdürlüğü, Kayapa İşletme Şefliği orman amenajman planı 2005-2014, 2017-2037.
- OGM, 2005b. Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Orhaneli Orman İşletme Müdürlüğü, Karabayır - Karıncalı İşletme Şefliği orman amenajman planı 2005-2014, 2017-2037.
- Rempel, R.S., Kaukinen, D., Carr, A.P., 2012. Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario.
- Sabuncu, A., Sunar, F., 2017. Ortofotolar ile nesne tabanlı görüntü sınıflandırma uygulaması: Van-Erciş depremi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1): 1-8. <https://doi.org/10.21324/dacd.271091>
- Solak, S., Kılıç, M.Y., Solmaz, S.K.A., 2019. Bursa ilinde sürdürülebilir kentsel su yönetimi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1): 111-124. <https://doi.org/10.17482/uumfd.463302>
- Sönmez, T., Gencal, B., Taş, İ., Kadioğulları, A., 2022. Orman ekosistemindeki zamansal değişimin orman amenajman planları ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla incelenmesi: Bursa Orman İşletme Müdürlüğü Örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3): 618-636. <https://doi.org/10.24011/barofd.1148842>
- Torun, A.T., 2015. Yapay arı koloni algoritmasının tarım alanlarının sınıflandırılmasında kullanılabilirliğinin irdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray*.
- TÜBİTAK, 2018. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Proje Adı: Çıncık Baraj Gölü Havzası koruma planı projesi, s: 170/597.
- TÜİK, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu, Bursa ili Orhaneli ilçesi nüfus bilgileri. <https://www.tuik.gov.tr>, Erişim tarihi: 20.12.2022
- Ündül, Ö., 2007. Ayrışmanın Çıncık Barajı göl alanındaki (Bursa) ultramafik kayaların mühendislik özelliklerine etkisi. *Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Yavuz, M., Vatandaşlar, C., 2018. Korunan alanların zamansal ve ekolojik değişiminin parçalılık analizi yardımıyla izlenmesi: Karagöl-Sahara Milli Parkı örneği. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 5 (1): 82-96. <https://doi.org/10.17568/ogmoad.403803>
- Yılmaz, M., 2013. Plansız yerleşme ve sanayileşmenin arazi kullanımı üzerindeki sosyo-ekonomik etkileri-Kahramanmaraş kentsel alanı incelemesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2(3): 217-228.
- Yılmaz, O.S., Gülgen, F., Güngör, R., Kadı, F., 2018. Uzaktan algılama teknikleri ile arazi kullanım değişiminin incelenmesi: Köprübaşı ilçesi örneği. *Geomatik Dergisi*, 3(3): 233-241. <https://doi.org/10.29128/geomatik.410987>

## 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. 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 Akademik](#). 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 üzerinde ve şekillerin altında başlıkları yer almalıdır. Çizelge ve şekiller mümkün olduğu kadar sade olmalı, içerilerindeki 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 “[giris](#)” 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 Çalıları (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. Kızıldağın (*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](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 Ardıç (*J. foetidissima* Willd.) ve Boylu Ardıç (*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.

