



ISPARTA
UYGULAMALI BİLİMLER
ÜNİVERSİTESİ

e-ISSN: 2149-3898

TURKISH JOURNAL OF FORESTRY

TÜRKİYE ORMANCILIK DERGİSİ



ISPARTA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Year:
Yıl: 2023

Volume:
Cilt: 24

Issue:
Sayı: 1

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: 2023, Volume/Cilt: 24, Issue/Sayı: 1

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
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
H. Oğuz Çoban	Isparta University of Applied Sciences, 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

CONTENTS

Research

- Volume equations for Caucasian fir - Oriental spruce mixed stands in Ardanuç, Artvin
Aydın Kahriman, Celal Yavuz Çakar, Abdurrahman Şahin..... 1-10
- Evaluation of first thinning in brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands: A case study in Sütçüler
Esra Bayar, Onur Alkan..... 11-17
- The effect of drought on micro-morphological structures and secondary metabolite content of basil
(*Ocimum basilicum* L.)
Semra Kılıç, Havva Kaya..... 18-24
- Evaluation of morphometric parameters and erosion status in Burdur Lake Watershed
İbrahim Dursun, Ahmet Alper Babalık 25-38
- Determination of some properties of guar gum added chitosan based adhesives
Mehmet Emin Ergün, İsmail Özlüsoylu..... 39-44

İÇİNDEKİLER

Araştırma

- Artvin Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini karışık meşcereleri için hacim denklemleri
Aydın Kahrıman, Celal Yavuz Çakar, Abdurrahman Şahin..... 1-10
- Kızılcıam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde uygulanan ilk aralama çalışmalarının değerlendirilmesi:
Sütçüler örneği
Esra Bayar, Onur Alkan..... 11-17
- Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.)'nin mikro-morfolojik yapılarına ve sekonder metabolit içeriğine
kuraklığın etkisi
Semra Kılıç, Havva Kaya..... 18-24
- Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi
İbrahim Dursun, Ahmet Alper Babalık 25-38
- Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların bazı özelliklerinin belirlenmesi
Mehmet Emin Ergün, İsmail Özlüsoylu..... 39-44

Artvin Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini karışık meşcereleri için hacim denklemleri

Aydın Kahrıman^{a,*}, Celal Yavuz Çakır^b, Abdurrahman Şahin^a

Özet: Bu çalışmada, Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğünde yayılış gösteren Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini karışık meşcerelerinde gövde hacminin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 107 adedi Gök nar ve 106 adedi ise Ladin olmak üzere toplamda kesilen 213 adet örnek ağaçtan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu denklemler Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı (R_{adj}^2), Tahminin Standart Hatası ($S_{y,x}$), Ortalama Hata (\bar{D}), Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{D}|$), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (%OMH) ve Toplam Hata Yüzdesi (%TH) ölçütüne göre rölaf olarak sıralanmış ve en başarılı denklemler belirlenmiştir. Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini için tek ve çift girişli gövde hacim denklemlerinin düzeltilmiş belirtme katsayıları sırasıyla 0.982-0.988 ve 0.981-0.992 olarak elde edilmiştir. Her iki ağaç türü için geliştirilen hem tek hem de çift girişli ağaç hacim denklemleri bağımsız veri seti ile "Wilcoxon T Testi" kullanılarak test edildi ve bu denklemlerin verilerin alındığı Ardanuç yöresindeki meşcerelere uygun olduğu 0.05 anlamlılık düzeyinde belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bu veriler kullanılarak her iki tür için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemi geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kabuklu gövde hacmi, Ağaç hacim denklemi, Wilcoxon T Testi, Karışık meşcere, Rölaf sıralama

Volume equations for Caucasian fir - Oriental spruce mixed stands in Ardanuç, Artvin

Abstract: The objective of this study is to estimation of stem volume for Caucasian fir - Oriental spruce mixed stands in Artvin-Ardanuç region of Turkey. For this purpose, the data obtained from 213 felled sample trees in total, which are 107 Caucasian fir and 106 Oriental spruce, were used. The fitted equations were ranked according to goodness-of-fit criterias (adjusted coefficient of determination (R_{adj}^2), standard deviation of residuals ($S_{y,x}$), average residuals (\bar{D}), average absolute residuals ($|\bar{D}|$), absolute mean error percentage (OMH%) and total error percentage (TH%)) and the most successful equations were selected based on relative ranks. The R_{adj}^2 values of the most successful single- and double-entry tree volume equations for Caucasian fir and Oriental spruce were 0.982 and 0.988 - 0.981 and 0.992, respectively. The best fitted tree volume equations were tested with independent data set for both tree species using "Wilcoxon T Test" within the border of Ardanuç Forest District Directorates, and concluded that these equations can be used for these stands at the 0.05 significant level. It is proposed to construct both single and double entry tree volume equations for the both tree species.

Keywords: Over-bark stem volume, Tree volume equation, Wilcoxon T Test, Mixed stands, Relative ranking

1. Giriş

Orman Genel Müdürlüğünün 2020 yılındaki orman envanterine göre Türkiye'deki orman alanlarının yaklaşık % 41'i (9.316.249 ha) karışık orman niteliğindedir (OGM 2020). Orman envanter verilerine göre Türkiye toplam ağaç servetinin yaklaşık 707 milyon m³'nü (%55) karışık ormanlar oluşturmaktadır. Dolayısı ile karışık ormanlar ve karışık meşcereler Türkiye ormancılığının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Doğu Karadeniz göknarı (*Abies nordmanniana* (Steven) Spach. subsp. *nordmanniana*) ve Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.), yayılış alanları, artım ve büyüme özellikleri, yarattıkları ekonomik değer nedeniyle ülkemizin önemli asli orman ağacı türlerimizdendir. 2020 yılındaki orman envanteri verilerine göre ülkemizin toplam ormanlık alanının 511.703 ha'lık

kısımında Gök nar, 365.845 ha'lık kısmında Doğu ladini ve 57129 ha'lık kısmında ise bu iki ağaç türünün karışım yaptığı karışık meşcereler mevcuttur (OGM 2020).

Orman işletmesinin temel girdisi olan dikili ağaç serveti, orman amenajman planlarının hazırlanması ve üretimin planlanması açısından önem taşımaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1988; Laar ve Akça, 2007). Meşcerelerin ağaç serveti meşcerelerin artım ve büyüme tahminlerinde, ormanların biyokütle ve karbon birikim miktarlarının hesaplanmasında, orman ürünleri üretim ve pazarlama faaliyetlerinin düzenlenmesinde, ormanların ekonomik, ekolojik ve sosyal fonksiyonlarının kararlaştırılmasında kullanılan önemli bir meşcere değişkenidir (Yavuz, 1999; Özçelik, 2010; Kumaş ve Kahrıman, 2016). Özellikle bölgesel hatta daha dar kapsamlı olan yöresel bazda üretilen ağaç hacim denklemleri ve tabloları, bu meşcerelerin yer

✉ ^a Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin

^b Artvin Orman Bölge Müdürlüğü, Şavşat Orman İşletme Müdürlüğü, Artvin

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): kaydin61@hotmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 29.08.2019, **Accepted** (Kabul tarihi): 18.01.2023



Citation (Atf): Kahrıman, A., Çakır, C.Y., Şahin, A., 2023. Artvin Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini karışık meşcereleri için hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 1-10. DOI: [10.18182/tjf.612822](https://doi.org/10.18182/tjf.612822)

aldığı planlama birimleri için düzenlenecek orman amenajman planlarının daha etkin ve tutarlı olmasına önemli katkılar sağlanacaktır (Sakıcı ve Yavuz, 2003; Özçelik, 2010; Kahriman vd., 2017; Sakıcı vd., 2018).

Ülkemiz yüzölçününün yaklaşık %29.4'ünü kaplayan ormanlık alanlardaki meşcere hacminin ortaya konulması büyük bir önem taşımaktadır. Daha pratik ve daha kolay olması sebebiyle, meşcere hacminin belirlenmesinde genellikle ağaç hacim denklemleri veya tabloları yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Ağaç Hacim Denklemleri kullanılan bağımsız değişken sayısına bağlı olarak, Tek Girişli (göğüs çapı), Çift Girişli (göğüs çapı ve boy) ve Çok Girişli (göğüs çapı ve boy ek olarak tepe uzunluğu, tepe yüksekliği, şekil katsayısı, tepe uzunluğunun ağaç boyuna oranı veya gövdenin belirli bir yükseklikteki çap) olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984). Ağaç hacim tabloları ayrıca, geçerli oldukları alanın meşcerenin büyüklüğüne göre de Genel Ağaç Hacim Tabloları, Bölgesel Ağaç Hacim Tabloları ve Yöresel (Lokal) Ağaç Hacim Tabloları olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yöresel hacim tabloları için 50-100, bölgesel hacim tabloları için 100-500 ve genel hacim tabloları için 1000-5000 adet örnek ağacın seçilmesi yeterli görülmektedir (Fırat, 1973; Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Çakır ve Kahriman, 2018).

Ülkemizde bu iki türün saf ve karışık olduğu meşcereler için genel, bölgesel ve yöresel ağaç hacim tabloları düzenlenmiştir. Ülkemizde bu iki tür için genel ağaç hacim tabloları, Sun vd. (1978) tarafından Gökmar için, Akalp (1978) ve Sun vd. (1978) tarafından Doğu ladini için düzenlenmiştir. Bölgesel hacim tabloları Miraboğlu (1955) tarafından Doğu Karadeniz gökmarı için Kuzey Anadolu Bölgesi'nde, Saraçoğlu (1986) tarafından Uludağ ve Doğu Karadeniz gökmarı için Karadeniz Bölgesi'nde (ince çaplı ağaçlar için, $d_{1.30} < 16$ cm), Bozkuş ve Carus (1997) tarafından Toros Gökmarı için Akdeniz Bölgesinde düzenlenmiştir. Yöresel ağaç hacim tabloları ise, Asan (1984) tarafından Kazdağı Gökmarı için Çanakkale-Balıkesir yöresinde, Ercanlı (2003) tarafından Doğu ladini için Artvin Orman İşletme Şefliğinde, Sakıcı ve Yavuz (2003) tarafından Uludağ Gökmarı için Ilgaz Dağında, Durkaya ve Durkaya (2006) tarafından Uludağ Gökmarı için Zonguldak yöresinde ve Giresun Orman Bölge Müdürlüklerinde ve Özçelik (2010) tarafından Toros Gökmarı için Bucak yöresinde düzenlenmiştir. Ayrıca Sakıcı (2002) tarafından Kastamonu yöresi Uludağ Gökmarı için gövde profili modeli yardımı ile gövde hacimleri hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğünde önemli bir yayılış alanına sahip olan Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcereleri için tüm gövde hacmini veren tek ve çift girişli ağaç hacim denklemlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca her iki türün saf meşcerelerinde daha önce üretilen gövde hacim denklemleri ile bu çalışma kapsamında Ardanuç yöresi gibi farklı ekolojik koşullardaki (Yöresel-Lokal) Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcerelerinde elde edilecek gövde hacim denklemleri karşılaştırılacaktır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada, materyal olarak "Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini Karışık Meşcereleri için Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi" adlı ve "AÇÜ-BAP:2016.F10.01.02" nolu Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi verileri kullanılmıştır (Çakır, 2018; Kahriman vd., 2018). Bu bağlamda, Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğü'ndeki Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcerelerinde 107 adedi Gökmar ve 106 adedi ise ladin olmak üzere toplamda kesilen 213 adet örnek ağaçta ölçülen gövde çapı verileri kullanılmıştır.

Artvin ilinde 40.378 ha'lık Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcereleri mevcutken, bu alanın 6536 ha'lık kısmı çalışma alanı olan Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğü'nde yer almaktadır (OGM 2015). Doğu Karadeniz gökmarı-Doğu ladini karışık meşcerelerinin çalışma alanındaki yayılışı Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmaya konu olan Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcerelerin yer aldığı Artvin-Ardanuç yöresinde ($40^{\circ}54'54'' - 41^{\circ}15'31''$ N, $41^{\circ}53'47'' - 42^{\circ}22'52''$ E) hava sıcaklığı aylık ortalama $2.8-21.0^{\circ}\text{C}$ (yıllık ortalama 12.3°C) arasında değişmekte, en düşük sıcaklık ise $+9.5^{\circ}\text{C}$ ile -16.1°C arasında seyretmekte, en yüksek sıcaklık ise 43°C 'ye ulaşmaktadır. Ortalama yıllık toplam yağış 700 mm iken, yıllık ortalama bağıl nem % 60-70 arasında değişmektedir (OGM 2016). Ardanuç'ta yazları sıcak ve kurak, kışları ise normal karasal iklime nazaran kısmen ılık ve daha az yağışlı bir iklim mevcuttur. Akdeniz iklimi ile karasal iklimin bir karışımının burada hakim olması, bu yörenin önemli bir özelliğidir.

Bu çalışma kapsamında araştırma verileri, Artvin Orman Bölge Müdürlüğü Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğünün sınırları içerisinde yer alan farklı sıklık, yaş ve verim gücündeki doğal Doğu Karadeniz gökmarı - Doğu ladini karışık meşcerelerinden toplam 213 örnek ağaç üzerinde yapılan ölçümler ile elde edilmiştir. Bu örnek ağaçlar her iki ağaç türü için gövde çapı, boyu ve hacim değişkenliğini temsil edebilecek şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, örnek ağaçların farklı çap ve boy basamaklarında, düzgün ve tek gövdeli, tepesi sağlam ve sağlıklı olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanındaki Doğu Karadeniz gökmarı-Doğu ladini karışık meşcerelerinin yayılışı

Çalışma kapsamındaki örnek ağaçlar dip kütük yüksekliğinden (0.3 m) kesilerek, ilk olarak dip kütük çapları (0.30) ölçülmüş, sonra göğüs yüksekliği çağı (1.30) ölçülmüş ve daha sonrada sırasıyla 1.3, 2.3, 3.3, ... metrelerde 1'er m ara ile mümkün olduğunca düzenli bir şekilde çap ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağaçların toplam boy değerleri de çelik şerit metre ile ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında kesilen 213 adet örnek ağaç gövdesi üzerinde 2281 adedi Doğu Karadeniz göknarı ve 2169 adedi Doğu ladini olmak üzere toplamda 4450 adet çap ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler yapılırken, eğer ağaç gövdesi daire biçimli olmayıp bozuk şekilli ise; gövde kesitine dik iki yönde çap ölçümü alınıp, iki ölçümün ortalaması alınmıştır. 213 örnek ağaca ilişkin bazı özelliklerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma gibi çeşitli istatistiksel bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

Her iki ağaç türü için de ağaç gövdeleri üzerinde her 1 m'de ölçülen çaplar kullanılarak toplam gövde hacimleri,

Smalian formülü aşağıdaki eşitlik (Eşitlik 1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_{smalian} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) l \quad (1)$$

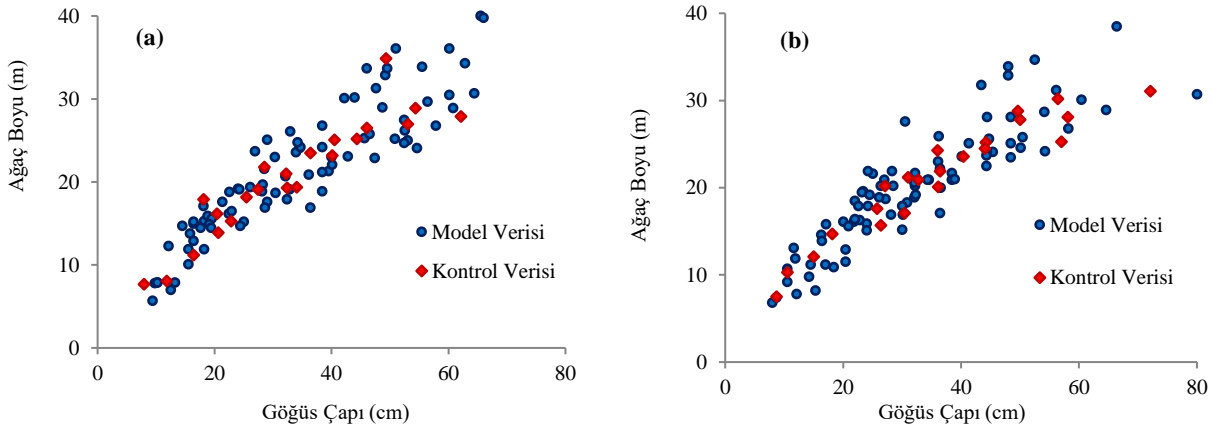
Bu denklemde d_0 seksiyonun kalın uc çapını, d_n seksiyonun ince uç çapını, l seksiyon uzunluğunu ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan veriler ikiye ayrılmıştır: (i) gövde hacim modellerinin parametrelerinin tahmininde kullanılan veriler (I. grup verileri: toplam verinin yaklaşık % 80'i: göknar için 85 ve ladin için 84 ağaç) ve (ii) bu modellerin uygulanışının denetiminde kullanılan veriler (II. grup verileri: Toplam verinin yaklaşık % 20'si: göknar ve ladin için 22'şer ağaç) (Şekil 2).

Çizelge 1. Gövde hacim modellerinin geliştirilmesi ve test edilmesi için kullanılan verilere ilişkin istatistiksel değerler

Ağaç türü	Veri tipi	Özellik	Veri sayısı	Minimum	Ortalama	Maksimum	Standart sapma
Doğu Karadeniz göknarı	Model veri	D (cm)	85	9.4	33.6	66.0	15.5
		H (m)	85	5.7	21.2	39.8	7.5
		t (yıl)	85	36.0	100.5	219.0	35.8
		V (m ³)	85	0.026	1.358	5.861	1.360
	Kontrol veri	D (cm)	22	7.9	35.1	65.5	15.8
		H (m)	22	7.7	21.5	40.0	8.0
		t (yıl)	22	51.0	107.8	201.0	45.0
		V (m ³)	22	0.025	1.478	6.661	1.583
Doğu ladini	Model veri	D (cm)	84	8.0	32.6	80.0	14.9
		H (m)	84	6.8	20.2	38.5	6.7
		t (yıl)	84	22.0	106.9	244.0	44.1
		V (m ³)	84	0.022	1.140	6.212	1.242
	Kontrol veri	D (cm)	22	8.7	36.6	72.1	16.4
		H (m)	22	7.5	21.3	31.1	6.5
		t (yıl)	22	38.0	110.2	213.0	47.0
		V (m ³)	22	0.024	1.418	4.125	1.219

Burada D: göğüs çapını, H: ağaç boyunu, t: ağaç yaşlarını, V: ağaç hacmini göstermektedir.



Şekil 2. Doğu Karadeniz göknarı (a) ve Doğu ladini (b) için modellerin oluşturulmasında ve denetiminde kullanılan verilerin çap-boy ilişkisi

2.2. Yöntem

Bu çalışmada her iki ağaç türü için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Literatürde çok sayıda ağaç hacim denklemleri olmakla birlikte benzer çalışmalarda en çok kullanılan ve genel itibarıyla başarılı olan ağaç hacim denklemleri (Yavuz, 1999; Ercanlı, 2003; Durkaya ve Durkaya, 2006; Özçelik, 2010; Sakıcı ve Yavuz, 2003; Kahriman vd., 2017 ve 2018) tercih edilmiştir. Bu doğrusal olan ve doğrusal olmayan regresyon analizleri SPSS (SPSS Institute Inc., 2010) adlı istatistik yazılım programı yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında tercih edilen tek girişli ağaç hacim denklemleri Çizelge 2’de ve çift girişli ağaç hacim denklemleri ise Çizelge 3’de verilmiştir.

Bu çalışmada; her iki tür için geliştirilen gövde çapı ve gövde hacmi modellerinin tahmin başarılarını değerlendirmek amacıyla, Düzeltmiş Belirtme Katsayısı ($R_{düz}^2$), Tahminin Standart Hatası ($S_{y,x}$), Ortalama Hata (\bar{D}),

Ortalama Mutlak Hata ($|\bar{D}|$), Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi (%OMH) ve Toplam Hata Yüzdesi (%TH) ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçüt değerlerinden Tahminin Standart Hatası, Ortalama Hata, Ortalama Mutlak Hata, Ortalama Mutlak Hata Yüzdesi ve Toplam Hata Yüzdesi değerlerinin küçük, belirtme katsayısı değerlerinin ise olabildiğince büyük ve 1’e yakın olması istenilmektedir (Kalıpsız, 1984; Castedo-Dorado vd., 2006).

Çizelge 2. Çalışma kapsamında kullanılan tek girişli ağaç hacim denklemleri

Model adı	Model	Eşitlik no.
Hohenadl-Krenn	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$	(2)
Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2$	(3)
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 D + \beta_2 D^2$	(4)
Berkhout(üssel)	$V = \beta_0 D^{\beta_1}$	(5)

Çizelge 3. Çalışma kapsamında kullanılan çift girişli ağaç hacim denklemleri

Model adı	Model	Eşitlik no.
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2}$	(6)
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 + \beta_1 D^{\beta_2} H^{\beta_3}$	(7)
Naslund	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + (\beta_2 H + \beta_3 DH + \beta_4 D^2 H)H$	(8)
Spurr	$V = \beta_0 D^2 H$	(9)
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H$	(10)
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + (\beta_3 + \beta_4 D + \beta_5 D^2)H$	(11)
Takata	$V = d^2 H / (\beta_0 + \beta_1 D)$	(12)
Prodan	$\log V = \beta_0 + \beta_1 \log D + \beta_2 (\log D)^2 + \beta_3 \log H + \beta_4 (\log H)^2$	(13)
Ogaya	$V = D^2 (\beta_0 + \beta_1 H)$	(14)

İstatistiki değerlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir;

Belirtme katsayısı

$$R_d^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \hat{V}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2 (n-p)} \quad (15)$$

Tahminin standart hatası

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)^2}{n-p}} \quad (16)$$

Ortalama hata

$$\bar{D} = \frac{\sum D}{n} = \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)}{n} \quad (17)$$

Ortalama mutlak hata

$$|\bar{D}| = \frac{\sum |D|}{n} = \frac{\sum |V_i - \hat{V}_i|}{n} \quad (18)$$

Ortalama mutlak hata yüzdesi

$$\%OMH = \left(\frac{\sum |V_i - \hat{V}_i|}{\sum V_i} \right) \times 100 \quad (19)$$

Toplam hata yüzdesi

$$\%TH = \frac{\sum (V_i - \hat{V}_i)}{\sum V_i} \times 100 \quad (20)$$

Burada, n: veri sayısını, p: parametre sayısını, y_i : ölçülen değeri, \hat{y}_i : model ile tahmin edilen değeri, V_i : ölçülen hacim değerini, \hat{V}_i : model ile tahmin edilen hacim değerini göstermektedir.

Yukarıda verilen ölçüt değerlerinden $S_{y,x}$, \bar{D} , $|\bar{D}|$, %OMH ve %TH’nın küçük, $R_{düz}^2$ değerinin ise büyük olması istenilmektedir (Kalıpsız, 1984; Castedo-Dorado vd., 2006).

Bununla birlikte, kullanılan ölçütler birden fazla olduğundan, başarı sıralamasının tüm başarı ölçütlerini kapsayacak şekilde yapılmasına olanak sağlayan ve Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yönteminden yararlanılmıştır. Bunun için aşağıda verilen eşitlik kullanılarak tüm ölçütler için denklemlerin rölatif sıralamaları ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan rölatif sıralamalar toplanarak denklemlere ilişkin toplam rölatif sıralama değerleri belirlenmiştir. Eşitliklere ilişkin genel sıralama ise toplam rölatif sıralama değerleri dikkate alınarak yapılan rölatif sıralama ile hesaplanmıştır (Sakıcı vd., 2018).

Rölatif Sıralama

$$R_i = 1 + \frac{(m-1) \cdot (S_i - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} \quad (21)$$

Burada; R_i : i . denklemin rölatif sıralamasını ($i= 1, 2, \dots, m$), S_i : i . denklemin ilgilenilen uygunluk ölçütüne ilişkin değerini, S_{min} : İlgilenilen uygunluk ölçütü için en küçük S_i değerini ve S_{max} : İlgilenilen uygunluk ölçütü için en büyük S_i değerini göstermektedir.

Ağaç hacim denklemlerinin örneklerin alındığı meşcereye uygunluğu, denklemlerin oluşturulmasında kullanılan bağımsız bir veri grubu ile yapılmaktadır (Loetsch vd., 1973; Kalıpsız, 1984; Laar ve Akça, 2007). Bu çalışmada toplam örnek ağaç sayısının %20’sini (her iki ağaç türü için de kontrol ağaç sayısı 22 adet) oluşturan örnek ağaç bu amaçla seçilmiştir. Bu çalışmada, kontrol grupların örnek sayıları 30 adetten düşük olduğu (her iki ağaç türü için de 22 adet) için “Wilcoxon Testi” ile karşılaştırma yapılmıştır (Kalıpsız, 1988; Batu, 1995). İlgili test “SPSS” adlı paket bir program yardımıyla uygulanmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada her iki ağaç türü için denenen tek girişli (Gökmar için Çizelge 4, Ladin için Çizelge 5) ve çift girişli (Gökmar için Çizelge 6, Ladin için Çizelge 7) ağaç hacim denklemlerinin çeşitli başarı istatistikleri aşağıda verilmiştir.

Geliştirilen ağaç hacim denklemlerine ilişkin uygunluk ölçütleri ve denklemlerin rölatif sıraları bakımından karşılaştırıldığında, her iki ağaç türü için de en iyi tek girişli ağaç hacim denkleminin Berkhout tarafından geliştirilen (Eşitlik 5) üssel modeli olmuştur (Çizelge 4 ve 5). En iyi seçilen denklemlerin belirtme katsayıları incelendiğinde diğerlerine göre daha yüksek oldukları açıkça görülecektir. Ladin için rölatif sıralamaya göre ilk sırayı 2 nolu eşitlik almasına rağmen bu denklemdeki parametrelerden birisinin (b_2) istatistiksel olarak anlamsız olmasından dolayı ikinci sırada olan 5 nolu eşitlik seçilmiştir (Çizelge 4).

Bu çalışmada her iki ağaç türü için en başarılı tek girişli ağaç hacim denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\text{Doğu Karadeniz göknarı} \\ V = 0,000116 D^{2,565811} \quad (22)$$

$$\text{Doğu ladinini} \\ V = 0,000143 D^{2,482109} \quad (23)$$

Çizelge 6 ve 7 verilen ağaç hacim denklemlerinin uygunluk ölçütleri ve denklemlerin rölatif sıralaması değerleri dikkate alındığında, her iki ağaç türü için de en başarılı çift girişli ağaç hacim denkleminin Schumacher-Hall tarafından geliştirilen (Eşitlik 6) eşitliktir (Çizelge 6 ve 7). Gökmar için rölatif sıralamaya göre ilk sırayı 13 nolu eşitlik almasına rağmen bu denklemdeki parametrelerden bazılarının (b_2 , b_3 ve b_4) istatistiksel olarak anlamsız olmasından dolayı ikinci sırada olan 6 nolu eşitlik seçilmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 4. Doğu Karadeniz göknarı tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ve parametre tahminleri

No	$R^2_{\text{düz}}$	$S_{v,x}$	\bar{D}	$ \bar{D} $	%OMH	%TH	Sıra	b_0	b_1	b_2	F
2	0.940	0.360	-0.000	0.219	15.26	-0.02	1.97	0.369 ^{ns}	-0.042	0.002	661.9
3	0.933	0.382	0.000	0.252	17.62	0.04	4.00	-0.286	-0.0012		1163.2
4	0.939	0.356	0.141	0.234	16.33	0.98	3.56	-0.021	0.0015		1288.1
5	0.982	0.178	0.003	0.211	14.74	0.20	1.00	0.00012	2.566		4661.8

ns: 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Çizelge 5. Doğu ladinini tek girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ve parametre tahminleri

No	$R^2_{\text{düz}}$	$S_{v,x}$	\bar{D}	$ \bar{D} $	%OMH	%TH	Sıra	b_0	b_1	b_2	F
2	0.951	0.273	0.000	0.156	13.86	0.01	1.00	0.097 ^{ns}	-0.019	0.001	814.4
3	0.949	0.282	-0.001	0.179	15.89	-0.02	3.67	-0.216	0.001		1535.9
4	0.952	0.267	0.004	0.163	14.66	0.38	4.00	0.0012	-0.014		1639.5
5	0.981	0.172	0.005	0.157	13.80	0.37	1.25	0.00014	2.482		4274.8

ns: 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Çizelge 6. Doğu Karadeniz göknarı çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ve parametre tahminleri

No	$R^2_{\text{düz}}$	$S_{v,x}$	\bar{D}	$ \bar{D} $	%OMH	%TH	Sıra	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	F
6	0.988	0.164	-0.006	0.101	7.050	-0.424	1.60	7.10⁻⁵	1.687	1.167				4385
7	0.988	0.165	0.006	0.103	7.181	0.418	1.78	-0.033	8.10 ⁻⁵	1.651	1.156			3279
8	0.988	0.165	0.001	0.105	7.335	0.014	1.77	0.007	0.0004	-0.001	6.10 ⁻⁵	-6.10 ⁻⁸		2623
9	0.992	0.186	0.017	0.111	7.764	1.156	3.24	4.10 ⁻⁵						5586
10	0.985	0.179	-0.008	0.110	7.652	-537	2.99	0.063	4.10 ⁻⁵					5586
11	0.988	0.166	-0.011	0.101	7.055	-749	1.84	0.247	-0.012	-6.10 ⁻⁵	-0.028	0.002	2.10 ⁻⁵	2186
12	0.987	0.168	-0.007	0.100	6.944	-469	1.66	21302	107.92					6321
13	0.996	0.170	0.003	0.100	6.684	0.212	1.00	-3.840	1.915	-0.043	0.393	0.264		4699
14	0.985	0.184	0.032	0.110	7.647	2.256	4.00	7.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁸					5199

*Koyu renkli parametreler: 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Çizelge 7. Doğu ladinini çift girişli ağaç hacim denklemlerine ilişkin başarı ölçütleri ve parametre tahminleri

No	$R^2_{\text{düz}}$	$S_{v,x}$	\bar{D}	$ \bar{D} $	%OMH	%TH	Sıra	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	F
6	0.992	0.110	-0.002	0.069	6.103	-0.014	1.00	5.10⁻⁵	1.781	1.145				6563
7	0.992	0.110	-0.003	0.070	6.249	-301	1.14	0.028	4.10 ⁻⁵	1.807	1.168			4922
8	0.992	0.110	-0.002	0.070	6.176	-169	1.09	-0.004	0.0004	-0.0002	2.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁷		3938
9	0.990	0.126	0.046	0.090	8.029	4.101	4.00	3.6.10 ⁻⁵						8408
10	0.990	0.123	0.013	0.085	7.505	1.116	2.80	0.066	3.10 ⁻⁵					8408
11	0.993	0.110	0.006	0.072	6.372	0.500	1.16	-0.060	0.019	-0.001	-0.012	0.0003	4.10 ⁻⁵	3282
12	0.992	0.114	0.004	0.072	6.347	0.331	1.36	24341	83.02					9084
13	0.992	0.113	0.006	0.070	6.248	0.522	1.30	-3.839	2.047	-0.076	0.256	0.284		2867
14	0.989	0.131	0.019	0.081	7.207	1.645	3.11	7.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁸					6937

*Koyu renkli parametreler: 0.05 önem düzeyinde anlamsız

Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini çift girişli ağaç hacim denklemlerinin belirtme katsayısı 0.988 ve 0.992 olup standart hataları 0.164 ve 0.110 m³, ortalama hataları -0.0077 ve 0.0002 m³ ve ortalama mutlak hataları ise 0.101 ve 0.069 m³'dür. Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini için en başarılı çift girişli ağaç hacim denklemlerinin sırasıyla ortalama mutlak hata yüzdeleri sırasıyla, % 7.040 ve % 6.103 olarak elde edilirken, toplam hata yüzdeleri ise % -0.536 ve % -0.014 olarak elde edilmiştir. Elde edilen toplam hata yüzdelerinin % 1'den ve ortalama mutlak hata yüzdelerinin ise %10'dan daha düşük olması önerilmektedir (Chapman ve Meyer, 1949; Loetsch vd., 1973). Bu çalışmada her iki ağaç türü için en başarılı çift girişli ağaç denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Doğu Karadeniz göknarı} \\ V = 0,000072 D^{1,687455} H^{1,167349} \quad (24)$$

$$\text{Doğu ladini} \\ V = 0,000051 D^{1,781451} H^{1,144889} \quad (25)$$

Bu çalışma kapsamında üretilen çift girişli ağaç hacim denklemlerinin toplam hata ve ortalama mutlak hata yüzdelerinin, kabul edilen hata sınırlarını aşmadığı görülmüştür. Bu da bu modellerin kabul edilebilir olduklarını ve çalışma alanlarındaki meşcerelerdeki ağaçların hacimlerinin doğruya yakın tahmin edilebileceklerini göstermektedir. Diğer taraftan Çizelge 4-7'deki başarı ölçütleri irdelendiğinde ($R^2_{düz}$, $S_{y,x}$, \bar{D} , $|\bar{D}|$, %OMH ve %TH) önerilen çift girişli ağaç hacim denklemlerinin tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı oldukları tespit edilmiştir.

Hacim denklemlerinin Ardanuç yöresindeki meşcerelere uygunluğu için yapılan Wilcoxon Testi sonuçlarına göre her iki ağaç türü için hem tek girişli ağaç hacim denklemleri (Göknar için $Z=-1.153$, $p>0.05$ ($p=0.249$) ve Ladin için $Z=-0.122$, $p>0.05$ ($p=0.903$)) hem de çift girişli ağaç hacim denklemleri (Göknar için $Z=-0.601$, $p>0.05$ ($p=0.548$) ve Ladin için $Z=-1.102$, $p>0.05$ ($p=0.271$)) ile tahmin edilen hacim değerleri ve arazide ölçülen hacim değerleri arasında $\alpha=0.05$ önem düzeyi ile istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Her iki ağaç türü için de geliştirilen hem tek girişli hem de çift girişli ağaç hacim denklemlerinin, bu denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı meşcerelere uygun olduğu söylenebilir.

Ayrıca, bu çalışmada hem Doğu ladini ve hem de Doğu Karadeniz göknarı için daha önce bazı araştırmacılar tarafından geliştirilen denklemlerin (Göknar için Miraboğlu (1955), Sun vd. (1978), Saraçoğlu (1986), Bozkuş ve Carus (1997), Durkaya ve Durkaya (2006), Özçelik (2010) ve Doğu ladini için ise Akalp (1978), Sun vd., (1978), Ercanlı (2003))

hata değerleri hesaplanmış ve Ardanuç yöresi için uygunluğu veya geçerliliği Wilcoxon Testi (kontrol veri sayısı 30'dan az olduğu için; $n=22$) ile test edilmiştir (Çizelge 8). Ağaç hacim denklemlerinin istatistiksel değerleri her iki tür için Çizelge 8'de verilmiştir. Diğer taraftan her iki tür için geliştirilen denklemlerim hacim eğrileri de Şekil 3'de verilmiştir.

Çizelge 8'de da görüleceği üzere hata değerleri dikkate alındığında bu çalışma kapsamında geliştirilen Schumacher-Hall çift girişli ağaç hacim denkleminin hata değerleri en düşük olduğundan hem Doğu Karadeniz göknarı ve hem de Doğu ladini için en başarılı denklem olduğu söylenebilir (Çizelge 8). Bu çalışma kapsamında hem Doğu ladini ve hem de Doğu Karadeniz göknarı için geliştirilen tek ve çift girişli denklemler Ardanuç yöresi için uygun olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan Miraboğlu (1955), Asan (1984), Bozkuş ve Carus (2007) ve Durkaya ve Durkaya (2006) (tek girişli) tarafından Doğu Karadeniz göknarı için ve Akalp (1978) ve Ercanlı (2003) tarafından Doğu ladini için geliştirilen denklemlerin denkleme ilişkin tahminleri ölçülen değerler ile istatistik olarak ($p>0.05$) benzer bulunmuştur (Çizelge 8).

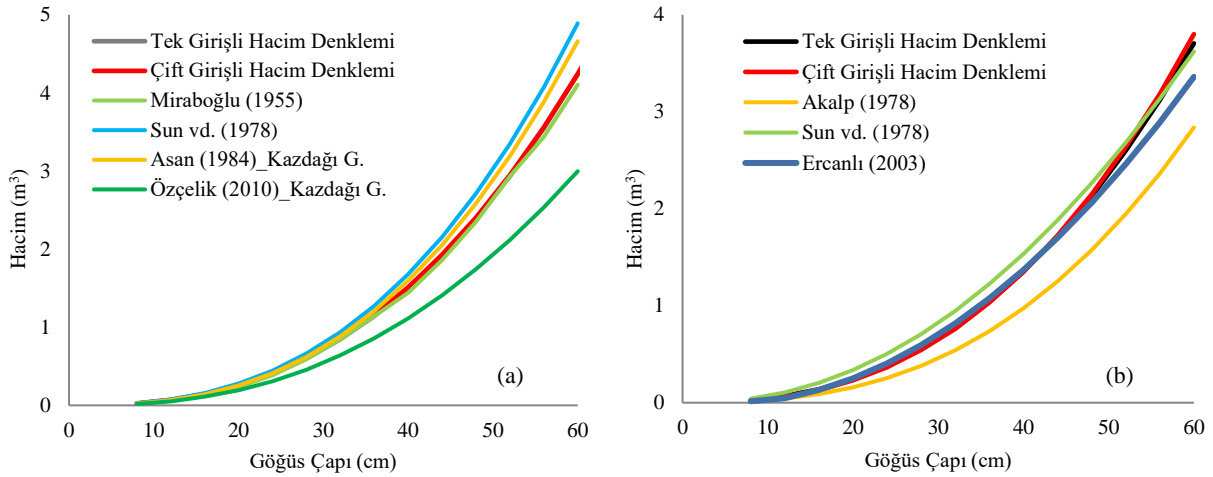
Şekil 3a'da da görüleceği üzere Doğu Karadeniz göknarı için, bu çalışma kapsamında hesaplanan tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri genel itibariyle birbirine benzemektedir. Sun vd., (1978) tarafından geliştirilen denklemin değerleri genel itibariyle diğerlerine göre daha yüksek hacimler vermektedir. Özçelik (2010), tek girişli, çift girişli, Miraboğlu (1955), Asan (1984) ve Sun vd., (1978) denklemlerinin 60 cm göğüs çapı ve 33 m boyundaki bir ağaç için hacim değerleri sırasıyla 3.012, 4.235, 4.243, 4.206, 4.662 ve 4.852 m³ olarak elde edilmiştir. Doğu ladini için, bu çalışma kapsamında hesaplanan çift girişli ağaç hacim denklemleri değerleri tek girişliye göre daha yüksek değerlere sahiptir. Doğu ladini için, 50 cm çapına kadar Sun vd. (1978) ve 50 cm'den sonra ise bu çalışma kapsamında geliştirilen çift girişli denklemi ile elde edilen hacim değerleri genel itibariyle en yüksek, Akalp (1978) denklemi ile elde edilen hacim değerleri ise en düşük hacim değerlerine sahiptir. Tek girişli, çift girişli, Akalp (1978), Sun vd. (1978) ve Ercanlı (2003) denklemlerinin 60 cm göğüs çapı ve 31 m boyundaki bir ağaç için hacim değerleri sırasıyla 3.706, 3.801, 2.839, 3.622 ve 3.361 m³ olarak elde edilmiştir (Şekil 3b). Bu çalışma kapsamında elde edilen hacim değerleri ile karşılaştırma yapılan diğer hacim denklemleri arasındaki farklılıklar, bu denklemlerin geçerli oldukları alanın meşcerenin büyüklüğünden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada Ardanuç yöresi gibi ekolojik özellikleri farklı lokal bir yörede çalışılmıştır.

Bu denklemlere göre Ardanuç yöresi Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini ağaç türleri için geçerli olacak şekilde tek girişli ve çift girişli ağaç hacim tablosu Çizelge 9-11'de verilmiştir.

Çizelge 8. Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini için hacim tablolarının karşılaştırılması

Ağaç türü	Denklemler	$S_{y,x}$	$ D $	\bar{D}	Z	P
Doğu Karadeniz göknarı	Tek girişli_bu çalışma	0.354	0.211	0.003	-1.153	0.249
	Çift girişli_bu çalışma	0.164	0.101	-0.008	-0.601	0.548
	Miraboğlu (1955)	0.169	0.103	0.030	-1.145	0.149
	Sun vd. (1978)	0.450	0.231	-0.218	-3.750	0.000
	Asan (1984)_KazdağıG	0.252	0.131	-0.110	-1.542	0.123
	Özçelik (2010)_TorosG	0.652	0.398	0.397	-3.799	0.000
	Bozkuş ve Carus (2007)_TorosG	0.390	0.177	-0.122	-0.325	0.745
	Durkaya ve Durkaya (2006)_TG	0.430	0.260	-0.118	-0.860	0.390
Durkaya ve Durkaya (2006)_ÇG (2006) ÇG	0.443	0.291	-0.288	-3.945	0.000	
Doğu Ladini	Tek girişli_bu çalışma	0.290	0.157	0.005	-0.122	0.903
	Çift girişli_bu çalışma	0.110	0.069	-0.002	-1.102	0.271
	Akalp (1978)	0.172	0.112	0.066	-1.867	0.062
	Sun vd. (1978)	0.218	0.156	-0.092	-2.289	0.022
	Ercanlı (2003)	0.300	0.151	0.046	-0.226	0.821

$S_{y,x}$: Tahminin Standart Hatası, \bar{D} : Ortalama Hata Ortalama, $|D|$: Mutlak Hata



Şekil 3. Doğu Karadeniz göknarı (a) ve Doğu ladini (b) için hacim eğrileri

Çizelge 9. Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini türleri içintek girişli kabuklu gövde hacmi tablosu

Doğu Karadeniz göknarı						Doğu ladini					
D (cm)	v (m³)	D (cm)	v (m³)	D (cm)	v (m³)	D (cm)	v (m³)	D (cm)	v (m³)	D (cm)	v (m³)
8	0.024	29	0.656	50	2.653	8	0.025	32	0.779	56	3.123
9	0.033	30	0.715	51	2.791	9	0.033	33	0.840	57	3.263
10	0.043	31	0.778	52	2.934	10	0.043	34	0.905	58	3.407
11	0.055	32	0.844	53	3.081	11	0.055	35	0.972	59	3.555
12	0.068	33	0.913	54	3.232	12	0.068	36	1.043	60	3.706
13	0.084	34	0.986	55	3.388	13	0.083	37	1.116	61	3.861
14	0.101	35	1.062	56	3.548	14	0.100	38	1.193	62	4.020
15	0.121	36	1.142	57	3.713	15	0.119	39	1.272	63	4.183
16	0.143	37	1.225	58	3.882	16	0.139	40	1.355	64	4.350
17	0.167	38	1.312	59	4.056	17	0.162	41	1.440	65	4.520
18	0.193	39	1.402	60	4.235	18	0.187	42	1.529	66	4.695
19	0.222	40	1.496	61	4.419	19	0.213	43	1.621	67	4.874
20	0.253	41	1.594	62	4.607	20	0.242	44	1.716	68	5.056
21	0.286	42	1.696	63	4.800	21	0.274	45	1.815	69	5.243
22	0.323	43	1.801	64	4.998	22	0.307	46	1.916	70	5.433
23	0.362	44	1.911	65	5.201	23	0.343	47	2.021	71	5.628
24	0.403	45	2.024	66	5.408	24	0.381	48	2.130	72	5.827
25	0.448	46	2.142	67	5.621	25	0.422	49	2.242	73	6.030
26	0.495	47	2.263	68	5.839	26	0.465	50	2.357	74	6.237
27	0.546	48	2.389	69	6.062	27	0.511	51	2.476	75	6.448
28	0.599	49	2.519	70	6.290	28	0.559	52	2.598	76	6.664
						29	0.610	53	2.724	77	6.884
						30	0.663	54	2.853	78	7.108
						31	0.720	55	2.986	79	7.336

Çizelge 10. Doğu Karadeniz göknarı için çift girişli kabuklu gövde hacmi tablosu

Göğüs çapları (cm)	Boy (m)																		
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
	Kabuklu gövde hacmi (m ³)																		
8	0.019	0.027	0.035	0.044	0.052	0.061	0.070												
10	0.028	0.040	0.052	0.064	0.076	0.089	0.102												
12	0.039	0.054	0.070	0.087	0.104	0.121	0.139												
14	0.050	0.070	0.091	0.113	0.135	0.157	0.181	0.204											
16		0.088	0.114	0.141	0.169	0.197	0.226	0.256											
18		0.107	0.139	0.172	0.206	0.241	0.276	0.312	0.349										
20		0.128	0.166	0.205	0.246	0.287	0.330	0.373	0.417	0.461									
22		0.150	0.195	0.241	0.289	0.337	0.387	0.438	0.489	0.542	0.595								
24		0.174	0.226	0.279	0.334	0.391	0.448	0.507	0.567	0.627	0.689								
26			0.258	0.320	0.383	0.447	0.513	0.580	0.649	0.718	0.789	0.860							
28			0.293	0.362	0.434	0.507	0.582	0.658	0.735	0.814	0.894	0.974							
30			0.329	0.407	0.487	0.570	0.654	0.739	0.826	0.914	1.004	1.095	1.186						
32				0.454	0.543	0.635	0.729	0.824	0.921	1.020	1.119	1.221	1.323						
34				0.503	0.602	0.703	0.807	0.913	1.020	1.129	1.240	1.352	1.465	1.580					
36				0.554	0.663	0.775	0.889	1.005	1.124	1.244	1.365	1.489	1.614	1.740					
38					0.726	0.849	0.974	1.101	1.231	1.362	1.496	1.631	1.768	1.906	2.046				
40					0.792	0.925	1.062	1.201	1.342	1.486	1.631	1.779	1.928	2.079	2.231	2.385			
42						1.005	1.153	1.304	1.457	1.613	1.771	1.931	2.093	2.257	2.422	2.590	2.758		
44						1.087	1.247	1.410	1.576	1.745	1.916	2.089	2.264	2.441	2.620	2.801	2.984	3.168	
46							1.344	1.520	1.699	1.881	2.065	2.252	2.440	2.631	2.824	3.019	3.216	3.414	
48							1.444	1.633	1.826	2.021	2.219	2.419	2.622	2.827	3.035	3.244	3.455	3.669	
50							1.547	1.750	1.956	2.165	2.377	2.592	2.809	3.029	3.251	3.475	3.702	3.930	
52								1.870	2.090	2.313	2.540	2.769	3.001	3.236	3.474	3.713	3.955	4.199	
54								1.993	2.227	2.465	2.707	2.951	3.199	3.449	3.702	3.957	4.215	4.475	
56								2.119	2.368	2.621	2.878	3.138	3.401	3.667	3.936	4.208	4.482	4.759	
58								2.248	2.513	2.781	3.054	3.329	3.609	3.891	4.176	4.465	4.756	5.049	
60								2.380	2.660	2.945	3.233	3.526	3.821	4.120	4.422	4.727	5.035	5.346	
62									2.812	3.112	3.417	3.726	4.039	4.355	4.674	4.996	5.322	5.650	
64									2.967	3.284	3.605	3.931	4.261	4.594	4.931	5.271	5.615	5.961	
66									3.125	3.459	3.798	4.141	4.488	4.839	5.194	5.552	5.914	6.279	
68										3.637	3.994	4.355	4.720	5.089	5.462	5.839	6.220	6.603	
70											3.820	4.194	4.573	4.956	5.344	5.736	6.132	6.531	6.935

Çizelge 11. Doğu ladini için çift girişli kabuklu gövde hacmi tablosu

Göğüs çapları (cm)	Boy (m)																	
	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
	Kabuklu gövde hacmi (m ³)																	
8	0.016	0.022	0.029	0.036	0.043	0.050	0.057											
10	0.024	0.033	0.043	0.053	0.063	0.074	0.084											
12	0.033	0.046	0.060	0.073	0.088	0.102	0.117	0.132										
14	0.044	0.061	0.078	0.097	0.115	0.134	0.154	0.173										
16		0.077	0.099	0.123	0.146	0.170	0.195	0.220	0.245									
18		0.095	0.123	0.151	0.180	0.210	0.240	0.271	0.302	0.334								
20		0.115	0.148	0.182	0.218	0.253	0.290	0.327	0.365	0.403	0.442							
22		0.136	0.175	0.216	0.258	0.300	0.344	0.388	0.432	0.478	0.524	0.570						
24		0.159	0.205	0.252	0.301	0.351	0.401	0.453	0.505	0.558	0.611	0.666						
26			0.236	0.291	0.347	0.404	0.463	0.522	0.582	0.643	0.705	0.768						
28			0.269	0.332	0.396	0.462	0.528	0.596	0.665	0.734	0.805	0.876	0.948					
30			0.305	0.375	0.448	0.522	0.597	0.674	0.751	0.830	0.910	0.990	1.072					
32				0.421	0.502	0.585	0.670	0.756	0.843	0.931	1.021	1.111	1.202	1.295				
34				0.469	0.560	0.652	0.746	0.842	0.939	1.038	1.137	1.238	1.340	1.442	1.546			
36				0.520	0.620	0.722	0.826	0.932	1.040	1.149	1.259	1.371	1.483	1.597	1.712	1.827		
38					0.682	0.795	0.910	1.027	1.145	1.265	1.386	1.509	1.633	1.758	1.885	2.012		
40					0.748	0.871	0.997	1.125	1.255	1.386	1.519	1.653	1.789	1.927	2.065	2.205		
42						0.950	1.088	1.227	1.368	1.512	1.657	1.804	1.952	2.102	2.253	2.405	2.559	
44						1.032	1.182	1.333	1.487	1.642	1.800	1.959	2.121	2.283	2.447	2.613	2.780	
46							1.279	1.443	1.609	1.778	1.948	2.121	2.295	2.471	2.649	2.828	3.009	
48							1.380	1.557	1.736	1.918	2.102	2.288	2.476	2.666	2.858	3.051	3.246	
50							1.484	1.674	1.867	2.062	2.260	2.461	2.663	2.867	3.073	3.281	3.490	
52								1.795	2.002	2.212	2.424	2.639	2.856	3.075	3.295	3.518	3.743	3.969
54								1.920	2.141	2.366	2.593	2.822	3.054	3.288	3.525	3.763	4.003	4.245
56								2.048	2.285	2.524	2.766	3.011	3.259	3.508	3.761	4.015	4.271	4.530
58								2.181	2.432	2.687	2.945	3.205	3.469	3.735	4.003	4.274	4.547	4.822
60								2.316	2.583	2.854	3.128	3.405	3.685	3.967	4.252	4.540	4.830	5.122
62								2.456	2.739	3.026	3.316	3.610	3.906	4.206	4.508	4.813	5.120	5.430
64								2.599	2.898	3.202	3.509	3.820	4.134	4.451	4.771	5.093	5.418	5.746
66								2.745	3.061	3.382	3.707	4.035	4.367	4.701	5.039	5.380	5.724	6.070
68								2.895	3.229	3.567	3.909	4.255	4.605	4.958	5.315	5.674	6.036	6.401
70									3.400	3.756	4.116	4.481	4.849	5.221	5.596	5.975	6.356	6.741
72									3.575	3.949	4.328	4.711	5.099	5.490	5.884	6.282	6.683	7.088
74									3.754	4.147	4.545	4.947	5.354	5.764	6.179	6.596	7.018	7.442
76									3.936	4.348	4.766	5.188	5.614	6.045	6.479	6.917	7.359	7.804
78									4.123	4.554	4.992	5.433	5.880	6.331	6.786	7.245	7.708	8.174
80									4.313	4.765	5.222	5.684	6.151	6.623	7.099	7.579	8.063	8.551

4. Sonuçlar ve öneriler

Meşcere hacminin tahmin edilmesinde genellikle ağaç hacim denklemleri ve tabloları yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Bu çalışma kapsamında hem tek girişli hem de çift girişli ağaç hacim denklemleri geliştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda her iki ağaç türü için de en iyi tek girişli ağaç hacim denklemleri üssel (Power) modeli olmuştur (Çizelge 4 ve 5). Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini tek girişli ağaç hacim denklemlerinin belirtme katsayıları sırasıyla 0.982 ve 0.981 olarak elde edilmiştir. Her iki ağaç türü için de en başarılı çift girişli ağaç hacim denklemleri Schumacher-Hall denklemleri ile elde edilmiş olup (Çizelge 6 ve 7), Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini için belirtme katsayıları sırasıyla 0.988 ve 0.992 olarak elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda üretilen çift girişli ağaç hacim denklemlerinin tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı oldukları tespit edilmiştir. Her iki ağaç türü için en başarılı çift girişli ağaç hacim denklemlerinin toplam hata yüzdeleri % 1'den (Göknar için % -0.536 ve Ladin için % -0.014) ve ortalama mutlak hata yüzdeleri ise %10'dan daha düşük (Göknar için % 7.040 ve Ladin için % 6.103) olarak elde edilmiştir. Üretilen hacim denklemlerinin toplam hata ve ortalama mutlak hata yüzdelerinin, kabul edilen hata sınırlarını aşmaması, bu modellerin kabul edilebilir olduklarını göstermektedir.

Diğer taraftan çift girişli ağaç hacim denklemlerinin tek girişli ağaç hacim denklemlerine göre daha başarılı oldukları (Hacim değişkenliğini belirlemede Göknar için % 0.6 ve ladin için ise % 1.1'lik bir artış söz konusudur) tespit edilmiştir. Diğer taraftan, her iki ağaç türü için de geliştirilen hem tek girişli hem de çift girişli ağaç hacim denklemlerinin, bu denklemlerin geliştirilmesinde kullanılan verilerin alındığı Ardanuç yöresindeki meşcerelere uygun olduğu söylenebilir.

Ormanlardan ekonomik, ekolojik ve sosyal yönden yararlanma şeklinin değiştiği günümüzde, ormanlarımızın önemli bir kısmını oluşturan karışık meşcerelerin önemi de giderek artmaktadır. Günümüzde karışık meşcerelerin önemindeki artışa paralel olarak bu meşcerelerin planlanmasına olan ihtiyaç da artmaktadır. Karışık meşcerelerde uygulanan silvikültürel müdahalelerin etkilerinin saptanabilmesi ve amenajman planlarının düzenlenmesi için büyüme modellerine olan talep gittikçe önem kazanmaktadır. Bunun içindir ki, Doğu Karadeniz göknarı ve Doğu ladini gibi asli ağaç türlerimizin oluşturduğu karışık meşcerelerdeki ağaçların hacimlerinin pratik ve güvenilir bir biçimde elde edilmesi hem bilimsel açıdan hem de uygulama açısından önemlidir.

Açıklama

Bu çalışma "Artvin BAP - 2016.F10.01.02" nolu proje ile Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünce desteklenmiştir. Bu proje verileri ile ayrıca Doç. Dr. Aydın KAHRİMAN danışmanlığında Orman Yüksek Mühendisi Celal Yavuz ÇAKIR tarafından hazırlanan yüksek lisans tezi yapılmıştır. Ayrıca proje ekibinin tümüne ve Artvin-Ardanuç Orman İşletme Müdürlüğündeki çalışanlara teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akalp, T., 1978. Türkiye'deki Doğu ladini (*Picea orientalis* Lk. Carr.) ormanlarında hasılat araştırmaları. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Asan, Ü., 1984. Kazdağ göknarı (*Abies equi-trojani* Aschers Et Sinten) ormanlarının hasılat ve amenajman esasları üzerine araştırmalar. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 43(1-2): 31-44.
- Batu, F., 1995. Uygulamalı İstatistiksel Yöntemler. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- Bozkuş, H.F., Carus, S., 1997. Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) ve sedir (*Cedrus libani* Link.)'in çift girişli gövde hacim tabloları ve mevcut tablolarla karşılaştırılması. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 47(1): 51-70.
- Dorado, F.C., Diéguez-Aranda, U., Anta, M.B., Rodríguez, M.S., Von Gadow, K., 2006. A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. Forest Ecology and Management, 229(1-3): 202-213.
- Chapman, H.H., Meyer, W.H., 1949. Forest Mensuration. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, USA.
- Çakır, C.Y., 2018. Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini karışık meşcereleri için uyumlu gövde çapı ve gövde hacim denklemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Çakır, C.Y., Kahrıman, A., 2018. Modeling stem profile of caucasian fir and oriental spruce mixed stands in Turkey using nonlinear mixed-effects models. Applied Ecology and Environmental Research, 16: 6815-6833. DOI: 10.15666/aer/1605_68156833
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2006. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Uludağ göknarı (*Abies bornmülleriana* Matff.), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky.) karışık meşcereleri için hacim tabloları. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8(10): 10-19.
- Ercanlı, İ., 2003. Artvin Orman İşletme Şefliği sınırları içerisindeki Doğu ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) meşcerelerinde sıklığa bağlı hasılat tablosunun düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Fırat, F., 1973. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- Kahrıman, A., Sönmez, T., Şahin, A., 2017. Antalya ve Mersin Yöresi kızılçam meşcereleri için ağaç hacim tabloları. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1): 9-22. Doi: 10.17475/kastorman.295706
- Kahrıman, A., Çakır, C.Y., Şahin, A., 2018. Doğu Karadeniz göknarı - Doğu ladini ve Karışık Meşcereleri İçin Uyumlu Gövde Çapı ve Gövde Hacim Denklemlerinin Geliştirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Proje Numarası: BAP: 2016.F10.01.02, Artvin.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- Kalıpsız, A., 1988. Orman Hasılat Bilgisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- Kumaş, G., Kahrıman, A., 2016. Development of compatible taper and volume equations for calabrian pine in Antalya Regional Directorate. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 17(1): 23-31.
- Laar, A.V., Akça, A., 2007. Forest Mensuration. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Loetsch, F., Zöhrer, F., Haller, K.E., 1973. Forest Inventory. Volume II. BLV Verlagsgesellschaft München Benn Wien, München.
- Miraboğlu, M., 1955. Göknarda Şekil ve Hacim Araştırmaları. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, Orman Genel Müdürlüğü Basımevi, İstanbul.

- OGM, 2020. Türkiye Orman Varlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, Ankara
- OGM, 2016. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Resmi İstatistikler, Artvin Özçelik, R., 2010. Bucak yöresi kızılçam, sedir ve Toros göknarı türleri için hacim denklemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(2): 1-15.
- Poudel, K.P., Cao, Q.V., 2013. Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. Forest Science, 59(2): 243-252.
- Sakıcı, O.E., 2002. Kastamonu yöresi Uludağ göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sakıcı, O.E., Yavuz, H., 2003. Ilgaz Dağı göknar meşcereleri için hacim fonksiyonları. Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 3(2): 155-168.
- Sakıcı, O.E., Sağlam, F., Seki, M., 2018. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü karaçam meşcereleri için tek ve çift girişli ağaç hacim denklemleri. Turkish Journal of Forestry, 19(1): 20-29.
- Saraçoğlu, Ö., 1986. Karadeniz Yöresi göknar meşcerelerinde artım ve büyüme. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- SPSS Institute Inc., 2010. IBM SPSS Statistics 19 Core System User's Guide. SPSS Programming and Data Management. SPSS Inc., Chicago.
- Sun, O., Eren, M.E., Orpak, M., 1978. Temel Ağaç Türlerimizde Tek Ağaç ve Birim Alandaki Odun Çeşidi Oranlarının Saptanması. TÜBİTAK-TOVAG Ormancılık Araştırma Grubu Yayını, Ankara.
- Yavuz, H., 1999. Taşköprü yöresinde karaçam için hacim fonksiyonları ve hacim tabloları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23: 1181-118.

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde uygulanan ilk aralama çalışmalarının değerlendirilmesi: Sütçüler örneği

Esra Bayar^{a,*}, Onur Alkan^a

Özet: Bu çalışma Isparta/Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunan doğal kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde uygulanan aralama müdahalelerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Kızılçam meşcerelerinde benzer yükselti ve bakıda iki ayrı sahada uygulanan iki farklı şiddetteki aralama müdahalesinin dört yıllık sonuçlarının büyüme özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. I nolu alanda mutedil alçak aralama müdahalesi uygulanırken, II nolu alanda kuvvetli alçak aralama müdahalesi gerçekleştirilmiştir. Kızılçam meşcerelerinde her iki alanda da uygulanan aralama müdahaleleri ortalama göğüs çapı, ağaç boyu, ağaç stabilitesi ve hektardaki toplam göğüs yüzeyi üzerinde etkili olmuştur. Aralama müdahaleleri ile ağaçların göğüs çap ve boy gelişimi, ağaç stabilitesi artmıştır. Dört yılın sonunda her iki alanda da hektardaki toplam hacim bakımından aralama müdahalesi uygulanan alanlar ile kontrol alanları arasında istatistiksel anlamda önemli bir farklılık belirlenmemiştir. Sonuç olarak, düzenli bakım müdahalesi uygulanan doğal kızılçam meşcerelerinde ilk aralama müdahalesi olarak kuvvetli alçak aralama tercih edilebilir. Düzenli bakım müdahalesi uygulanmayan alanlarda ise meşcere gelişimi de göz önüne alınarak mutedil alçak aralama müdahalesinin uygulanması önerilebilir.

Anahtar kelimeler: Aralama, Göğüs yüzeyi, Kızılçam, Hacim, Stabilite

Evaluation of first thinning in brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands: A case study in Sütçüler

Abstract: This study was carried out to evaluate the influence of thinning on natural Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in Isparta/Sütçüler Forestry Management Directorate. The effect of the four-year results of thinning on the growth characteristics of Brutian pine stands was evaluated at two different levels applied in two different areas at similar elevation. Moderate thinning was performed in area I, and heavy thinning was performed in area II. Thinning applied in Brutian pine stands in both areas had an effect on mean diameter at breast height, tree height, tree stability and total basal area. Tree stability, diameter and height growth of trees increased with the thinnings applied. At the end of four years, no significant difference was determined between the areas where thinnings was applied and the control areas in terms of the total volume per hectare in both areas. As a result, heavy thinning may be preferred as the first thinning in areas where regular maintenance is applied in natural Brutian pine stands. In areas where regular maintenance is not applied, moderate thinning can be applied considering the development of the stand.

Keywords: Thinning, Basal area, Brutian pine, Volume, Stability

1. Giriş

Ülkemizin büyük bir bölümü, kurak yaz subtropikal Akdeniz iklim kuşağında yer aldığından dolayı hem mevcut hem de gelecekteki iklim değişkenliği açısından Türkiye orta-yüksek riskli ülkeler arasındadır. Kuraklık nedeniyle orman verimliliğinin azalması, hastalık ve böcek zararlarının artması, gözlemlenen etkiler arasındadır. Bu bağlamda iklim değişikliğine uyum çerçevesi kapsamında yapılması gereken çalışmalardan biri de orman ekosistemlerinin dayanıklılık kapasitelerinin artırılmasıdır. Ormanların dayanıklılık kapasitelerini artırma yöntemlerinden biri uygulanacak olan silvikültürel uygulamalardır (ÖDÜSP, 2020). Ekolojik bir sistem olan ormanların devamlılığının ve sürekliliğinin sağlanabilmesi silvikültürel müdahalelerle mümkündür (Tüfekçioğlu, 2006). Silvikültürel müdahalelerden olan sıklık bakımı veya aralama müdahaleleri ile meşceredeki artım, düzgün gövdeli bireyler üzerinde toplanarak ürün

değeri artırılır. Bununla birlikte müdahalenin şiddetiyle, meşceredeki genel hacim veriminin olabilecek en yüksek düzeyde tutulması amaçlanır (Erkan vd., 2017). Aralama müdahaleleriyle bir yandan meşcerenin tür karışımı, karışım derecesi, karışım oranı, tabakalılığı, kapalılığı ve sıklığı amaca uygun olarak düzenlenirken, diğer yandan meşcerenin dış etkilere karşı dayanıklılığı artırılır (Odabaşı, 1985). Orman bakım müdahalelerinin bir parçası olan aralama işlemleri, zarar görmüş veya sağlıklı ağaçları ortadan kaldırarak meşcere kalitesini sürdürülebilir bir şekilde iyileştirmeyi amaçlar (Zeide, 2001; Kim vd., 2016). Bir meşcerede uygulanacak doğru aralama müdahalesinin seçimi, silvikültürdeki en önemli kararlardan biridir (del Río vd., 2017).

Ayıklama ve aralama müdahalelerinin ağaçların büyüme parametreleri üzerindeki etkisi uzun yıllar ormanlık biliminin ilgi alanına giren bir araştırma konusu olmuştur

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

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 03.01.2023, **Accepted** (Kabul tarihi): 02.03.2023



Citation (Atıf): Bayar, E., Alkan, O., 2023. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde uygulanan ilk aralama çalışmalarının değerlendirilmesi: Sütçüler örneği. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 11-17. DOI: [10.18182/tjf.1228928](https://doi.org/10.18182/tjf.1228928)

(Ceylan, 1986; Kaymakçı vd., 2000; Rédei ve Meilby, 2009; Çiçek vd., 2010; Güney vd., 2021). Küresel iklim değişikliği bağlamında, meşcerelerin farklı silvikültürel alternatifler altında nasıl gelişeceğinin belirlenmesi, sürdürülebilirliklerinin sağlanması açısından da önemlidir (del Río vd., 2017). Bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından farklı bölgelerdeki türler üzerinde çeşitli şiddetlerde uygulanan sıklık bakımı ve aralama müdahalelerinin etkileri incelenmiştir (Özçelik ve Eler, 2009; Ferguson vd., 2011; Yücesan vd., 2015; Bayar ve Deligöz, 2019; Güney vd., 2022). Yapılan çalışmalarda bu silvikültürel müdahalelerinin ağaçların çap gelişimi üzerinde etkili olduğu bulunmuştur (Ceylan, 1986; Öncül vd., 2016; Bayar ve Deligöz, 2020; Güney vd., 2022). Uygulanan müdahalelerin şiddeti arttıkça ağaçların göğüs çap artımı da artmaktadır (Eler ve Keskin, 1989; Özbayram ve Çiçek, 2018; Atar, 2022). Özellikle genç meşcerelerde aralama müdahaleleri göğüs çapı artımını teşvik etmekte ve aralama şiddeti ile göğüs çap artımı arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (Juodvalkis vd., 2005). Göğüs çapı ve ağaç boyu ağaçların büyüme özelliklerinin ölçülmesinde sıklıkla kullanılan parametrelerdir (Sumida vd., 2013). Meşceredeki ağaç boyunun göğüs çapına oranı dayanıklılık göstergesi olup (Ferguson vd., 2011; Yücesan vd., 2013), meşcere stabilitesinin ($H/D_{1.30m}$ oranı) değerlendirmesinde pratikte kullanılabilir bir değerdir (Topaçoğlu, 2007).

Türkiye’de 5.255,544 ha toplam alanı ile ibrelili türler içerisinde en geniş yayılış alanına sahip olan tür kızılçamdır (OGM, 2021). Endüstriyel odun üretimi bakımından da önemli yeri olan bu türün büyüme performansı da ülkemiz ormancılığı için önemlidir (Erkan vd., 2017). Kızılçam türünde yapılan aralama çalışmalarında genellikle kuvvetli alçak aralama müdahaleleri önerilmiştir (Ceylan, 1986; Eler ve Keskin, 1989). Bu çalışmanın amacı ülkemiz ormancılığında önemli bir yeri olan bu türde iki ayrı sahada uygulanan aralama müdahalelerinin (mutedil ve kuvvetli alçak aralama) büyüme özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmektir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Çalışma, Isparta ili Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Çürük ve Boğazköy mevkiilerinde bulunan doğal kızılçam meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir. Meşcere tipi Çzbc₃ olan bu sahalarda 2018 yılı kasım ayı ve 2019 yılı mart ayında ilk aralama müdahalesi gerçekleştirilmiştir. Kızılçam meşcerelerinde her iki alanda da ağaçların ortalama yaşı 24-30 arasında değişmektedir. Çürük mevkiisindeki kızılçam meşceresi 37° 27' kuzey enlemi ve 30° 57' doğu boylamı arasında yer almakta olup, bakışı kuzeydoğu, boniteti II ve ortalama yükseltisi 930 m'dir. Boğazköy mevkiisindeki doğal kızılçam meşceresi 37° 33' kuzey enlemi ve 30° 58' doğu boylamı (Şekil 1) arasında, bakışı kuzeybatı, boniteti I ve ortalama rakımı 950 m'dir. Deneme alanlarının toprak tipi kırmızımsı ve kırmızımsı-kahverengi Akdeniz topraklarından oluşmaktadır. Erinç yöntemine göre iklim tipi yarı nemlidir. Çalışmayı daha kolay ifade edebilmek adına Çürük mevkiisindeki kızılçam meşceresi I nolu deneme alanı, Boğazköy mevkiisindeki kızılçam meşceresi ise II nolu deneme alanı olarak adlandırılmıştır (Şekil 1).

2.2. Yöntem

I ve II nolu deneme alanlarında aralama ve kontrol işlemi (aralama müdahalesi uygulanmayan işlem) olmak üzere iki işlem üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. I nolu deneme alanı düzenli bakım müdahaleleri uygulanan ve ilk aralama müdahalesi olarak 2019 yılı mart ayında mutedil alçak aralama işlemi (toplam göğüs yüzeyinin %30'u çıkarıldı) uygulanan bir sahadır. II nolu deneme alanı ise düzenli bakım müdahaleleri uygulanmayan bir saha olup, ilk aralama müdahalesi olarak 2018 yılı kasım ayında kuvvetli alçak aralama işlemi (toplam göğüs yüzeyinin %45'i çıkarıldı) uygulanan bir sahadır. I nolu deneme alanı büyüklüğü ortalama 400 m² alınırken, II nolu deneme alanının büyüklüğü 200 m² ile 600 m² arasında değişen büyüklüklerde alınmıştır. I nolu deneme alanında kontrol işleminin hektardaki toplam göğüs yüzeyi 28.19 m²/ha ve hektardaki ağaç sayısı 1633 adet iken, aralama müdahalesinin toplam göğüs yüzeyi 19.48 m²/ha ve hektardaki ağaç sayısı 583 adettir. II nolu deneme alanında kontrol işleminde toplam göğüs yüzeyi 33.04 m²/ha ve hektardaki ağaç sayısı 1883 adet iken, aralama müdahaleleri ile toplam göğüs yüzeyi 18.00 m²/ha ve hektardaki ağaç sayısı 289 adettir. 2022 yılı aralık ayında (aralama müdahalelerinin 4. yılı) deneme alanı içerisindeki tüm ağaçlarda göğüs çapı ($d_{1.30cm}$) ve ağaç boyu ölçülerek, hektardaki toplam göğüs yüzeyi ve ağaçların stabilitesi ($H/D_{1.30m}$) hesaplanmıştır. Ağaçların göğüs çapı yerden 1.30 cm yükseklikten mekanik çap ölçer (cm) ile, ağaç boyu (m) ise TruPulse 360 lazer boy ölçer ile ölçülmüştür. Deneme alanı içerisindeki ağaçların hacimleri, bağlı buldukları şefliklerin amenajman planlarında yer alan tek girişli ağaç hacim tablolarından elde edilerek, deneme alanlarına ilişkin hektardaki toplam hacim değerleri belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

2.3. Verilerin değerlendirilmesi

Veriler SPSS 25.0 Windows paket programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Dördüncü gelişme dönemi sonunda meşcere büyüme özelliklerine ait değerler ortalama \pm standart hata şeklinde verilmiştir. I ve II nolu deneme alanlarındaki işlemler arasında ağaçların göğüs çapı, boyu, stabilitesi ($H/D_{1.30m}$ oranı), hektardaki toplam göğüs yüzeyi ve hacim değerleri bakımından farklılık olup olmadığı Student's t testi (bağımsız örneklem t testi) ile belirlenmiştir.

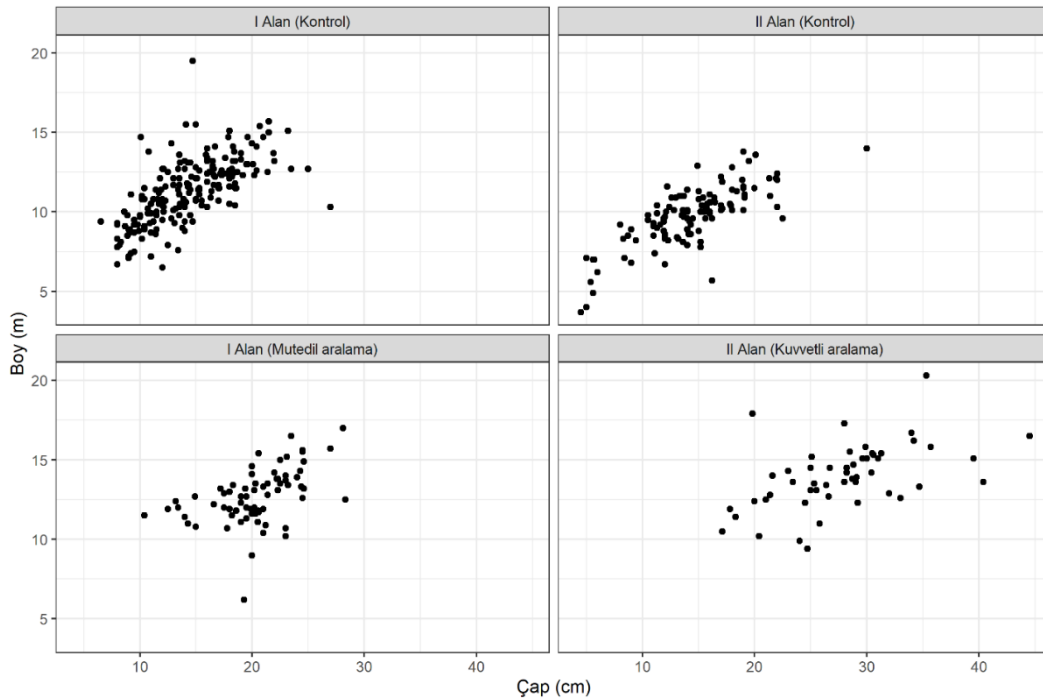
3. Bulgular

Deneme alanlarında kontrol işlemi ve aralama müdahalesi sonrası alanlarda bırakılan bireylerin çap-boy ilişkisi Şekil 2'de gösterilmiştir. Kızılçam meşcerelerinde aralama müdahalesi uygulanan alanlarda kontrol işlemlerine kıyasla ağaçların göğüs çap ve boy gelişimi artmıştır. Dört yılın sonunda iki alanda da ağaçların ortalama göğüs çapı, ağaç boyu, $H/D_{1.30m}$ oranı, hektardaki toplam göğüs yüzeyi bakımından işlemler arasında 0.001 önem düzeyinde anlamlı farklılık tespit edilmiştir. I nolu alanda kontrol işleminde göğüs çapı 14.32 cm iken mutedil alçak aralama işleminde 20.34 cm olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Mutedil alçak aralama işleminde kontrol işlemine kıyasla göğüs çapı yaklaşık % 42 oranında artmıştır. II nolu alanda ise kontrol işlemindeki 14.31 cm olan göğüs çapı, kuvvetli alçak aralama işleminde 27.42 cm olarak yaklaşık % 91 oranında artmıştır (Çizelge 1). Hektardaki toplam göğüs yüzeyi kontrol alanlarında daha yüksek çıkmıştır. Deneme alanında kontrol

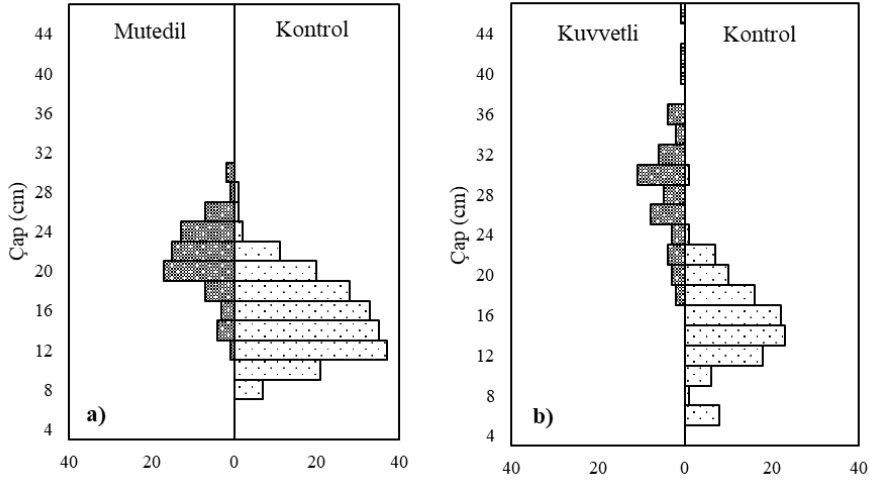
ve aralama müdahalelerinde kalan bireylerin çap sınıfına dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.

Her iki alanda da kontrol işlemlerine kıyasla aralama işlemlerine ait ağaç boyu değerleri yüksek çıkmıştır. I nolu alanda ağaçların boyu kontrol işleminde 11.30 m iken, mutedil alçak aralama işleminde 12.71 m olarak tespit edilmiştir. II nolu alanda kontrol işleminde ağaçların boyu 9.76 m iken, kuvvetli alçak aralama uygulanan işlemde 13.80 m olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). I nolu alanda kontrole kıyasla aralama müdahalesi uygulanan alanda ağaç boyu yaklaşık % 13 oranında artarken, II nolu alanda yaklaşık % 41 oranında artmıştır.

Ağaç stabilitesi ($H/D_{1.30m}$) incelendiğinde, I nolu alanda kontrol işleminde 82.00 olan $H/D_{1.30m}$ oranı, mutedil alçak aralama işleminde 63.99 bulunurken, II nolu alanda kontrol işleminde 72.18 ve kuvvetli alçak aralama işleminde 52.60 olarak tespit edilmiştir. $H/D_{1.30m}$ oranı aralama uygulanan işlemlerde kontrol işlemine kıyasla daha düşük çıkmıştır (Çizelge 1). İnce çaplı ağaçlar daha yüksek $H/D_{1.30m}$ oranına sahiptir. Göğüs çapı arttıkça $H/D_{1.30m}$ oranı azalmaktadır (Şekil 4). Dört yılın sonunda I nolu deneme alanında hektardaki toplam hacim kontrolde 140.3 m³/ha iken, mutedil alçak aralama müdahalesi uygulanan alanlarda 125.0 m³/ha, II nolu deneme alanında hektardaki toplam hacim kontrolde 166.2 m³/ha ve kuvvetli alçak aralama müdahalesi uygulanan alanlarda 136.3 m³/ha olarak tespit edilmiştir. Hektardaki toplam hacim bakımından her iki alanda da işlemler arasında istatistiksel anlamda 0.05 önem düzeyinde anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir (Çizelge 1).



Şekil 2. I ve II nolu deneme alanında kontrol ve aralama işlemlerinde göğüs çapı ($d_{1.30cm}$) - ağaç boyu ilişkisi

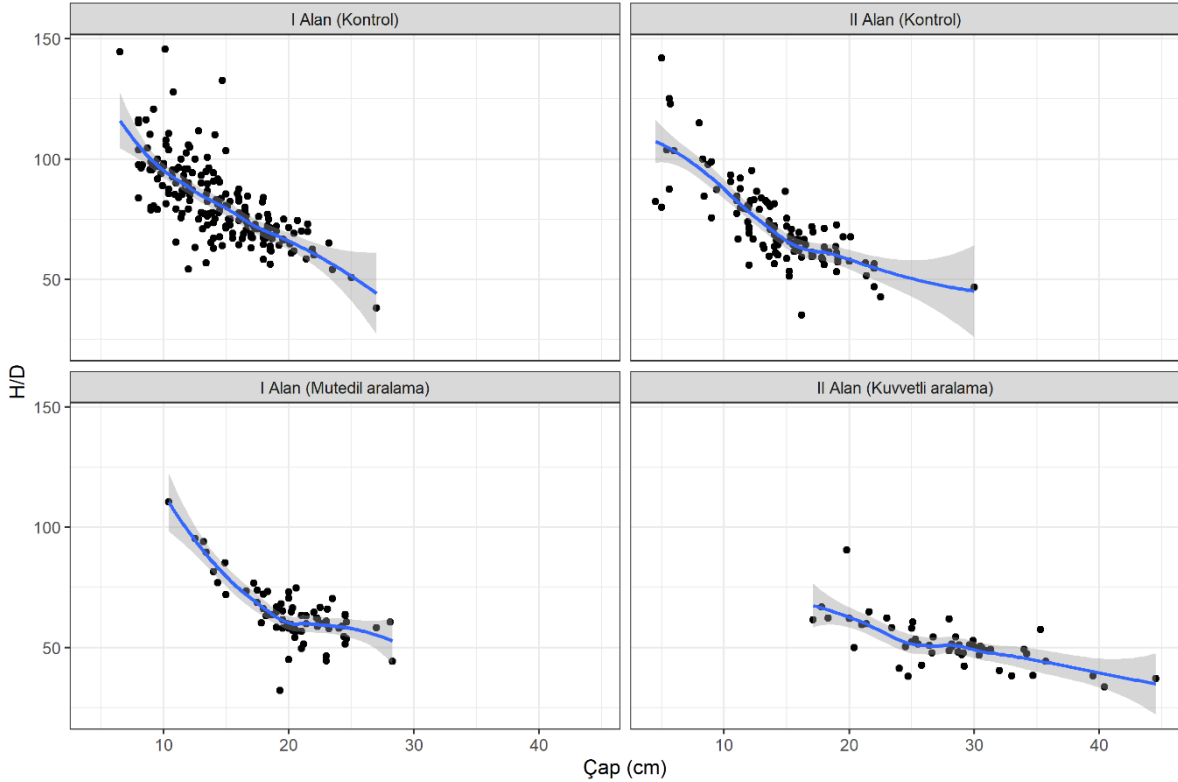


Şekil 3. a) I ve b) II nolu deneme alanında işlemlere göre ağaç sayısının çap sınıflarına dağılımı

Çizelge 1. Kızılcım deneme alanlarında kontrol ve aralama (mutedil ve kuvvetli alçak aralama) işlemlerinin büyüme parametreleri üzerindeki etkisi

	İşlemler	Göğüs çapı (cm)	Hektardaki toplam göğüs yüzeyi (m ² /ha)	Ağaç boyu (m)	Stabilite (H/D _{1.30m})	Hektardaki toplam hacim (m ³ /ha)
I nolu alan	Kontrol	14.32 (0.28)	28.19 (1.07)	11.30 (0.15)	82.00 (1.18)	140.31 (7.94)
	Mutedil	20.34 (0.42)	19.48 (0.66)	12.71 (0.21)	63.99 (1.47)	124.97 (7.54)
	<i>P</i> değeri	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	>0.05
II nolu alan	Kontrol	14.31 (0.41)	33.04 (1.96)	9.76 (0.18)	72.18 (1.58)	166.22 (13.99)
	Kuvvetli	27.42 (0.90)	18.00 (1.20)	13.80 (0.32)	52.60 (1.76)	136.27 (10.88)
	<i>P</i> değeri	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	>0.05

Veriler ortalama (st hata) şeklinde verilmiştir. *P*: Student *t*- testine göre işlemler arasında istatistiksel anlamda, $p < 0.05$ ve $p < 0.001$ önem düzeyinde farklılığı ifade etmektedir.



Şekil 4. I ve II nolu deneme alanında kontrol ve aralama işlemlerinde göğüs çapı ($d_{1.30 \text{ cm}}$) - $H/D_{1.30m}$ ilişkisi

4. Tartışma ve sonuç

Göğüs yüzeyi ve hacim değerleri, uygulanan bakım müdahaleleri sonrasında meşcere gelişimi için önemli göstergelerdir (Güney vd., 2021). Bakım çalışmalarının değerlendirildiği bu çalışmada, aralama müdahaleleriyle ağaçların ortalama göğüs çapı ve ortalama boy gelişimi artmıştır. Birim alanda azalan ağaç sayısına bağlı olarak, ışık, su ve besin maddesindeki rekabetin azalması ağaçların büyüme parametrelerinde artışın sebeplerinden biri olabilir. Meşcereye uygulanan aralama müdahaleleri kalan ağaçların çap gelişimi ve çap artımı üzerinde etkilidir (Eler, 1990; Genç vd., 2012; Çiçek vd., 2013; Kim vd., 2016; Güner vd., 2017). Aralamanın amaçlarından biri de daha kalın çaplı bireyler elde etmektir. Aralama şiddeti arttıkça, ortalama göğüs çapı artmaktadır (del Río vd., 2008). Kızılçam türü, uygulanan aralama müdahaleleriyle çap gelişimine hızlı cevap vermektedir. Serbest büyüdüğü takdirde kalın çaplı bireyler rastlanabilmektedir (Özdemir vd., 1987). Kuvvetli alçak aralama müdahalesi uygulanan II nolu deneme alanında kontrole kıyasla ağaçlar serbest büyüdüğünden dolayı daha kalın çaplı bireyler mevcuttur. Deneme alanlarında kontrol işlemlerinde ortalama göğüs çapı 14.3 cm iken, dört yıl sonunda mutedil alçak aralama ile ortalama göğüs çapı 20.3 cm, kuvvetli alçak aralama müdahalesinde ortalama göğüs çapı 27.4 cm olarak belirlenmiştir. Artımın iyi vasıflı bireylerde toplanması ileriki yıllarda meşcere göğüs yüzeyi toplamının kontrol alanlarındaki göğüs yüzeyi toplamına ulaşacağı belirtilmektedir (Kaymakçı vd., 2000). *Pinus sylvestris* L. türünde yapılan çalışmada toplam göğüs yüzeyindeki azalmanın artan çap artımı ile kapatıldığı belirlenmiştir (Sıvacioğlu vd., 2006). Benzer sonuç *Pinus taeda* L. meşceresinde de tespit edilmiştir (Hasenauer vd., 1997). Dört yıl sonunda iki alanda da aralama müdahalesi uygulanan alanlardaki toplam göğüs yüzeyi kontrol alanlarındaki toplam göğüs yüzeyine ulaşamamıştır. Gelecekte artım kayıpları yaşamamak adına ağaçların serbest büyümesinin de bir sınırı olmalıdır. Belli yaşlarda birim alanda olması gereken ağacın optimal sayının altında olması ve alanı yeterince kullanamaması artım kaybına sebep olabilir (Özdemir vd., 1987). Aralama müdahalelerinin boy gelişimi üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde kontrole kıyasla aralama müdahalesi uygulanan alanlarda istatistiksel anlamda önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Kızılçamın ışık isteğinin yüksek olması, aralama müdahalesi uygulanan alanlardaki ağaçların boy gelişimindeki artış sebeplerinden biri olabilir. Bakım müdahalelerinin boy gelişimi ve artım üzerinde etkili olduğu ve olmadığı çalışmalar mevcuttur (Ruha ve Varmola, 1997; Mechergui vd., 2017; Bayar ve Deligöz, 2020). *Pinus sylvestris* L. türünde uygulanan ilk aralama ve budama müdahalesi ağaçların çap ve boy artımı üzerinde etkili olmuştur (Sağır, 2017).

Sıklık bakımı uygulanmayan II nolu deneme alanında, ilk aralama müdahalesi olarak ortalama 23 yaşında kuvvetli alçak aralama müdahalesi gerçekleştirilmiştir. Kızılçam ağacının ışık isteği yüksek olup, ışıksızlığa tahammülü olmadığından dolayı, müdahale edilmeyen kontrol sahalarında dikili kuru fazla miktarda olmakla birlikte, I. bonitet olan deneme alanında ağaçların çap gelişimi de müdahale edilen alanlara kıyasla yavaşlamıştır. Kızılçamda ilk aralama müdahalelerinin iyi bonitette 16-18, orta bonitette 20-22, fena bonitette 24-26 arasındaki yaşlarda yapılmasının uygun olabileceği belirtilmektedir (Usta, 1992). Kızılçamda

büyüme enerjisi duraklatılan ve sonradan etrafı açılan bireylere, yetiştirme alanı sağlansa da beklenen artımı yapamamaktadır (Eler ve Keskin, 1989). Gençlik ve sıklık bakımları düzenli olarak uygulanan meşcerelerde, bütün aralama müdahalelerinin kuvvetli alçak aralama olarak sürdürülebileceği önerilmektedir (Ceylan, 1986; Genç, 2011). I nolu deneme alanı, bakım müdahaleleri düzenli uygulanan bir sahadır. Uygulanan mutedil alçak aralama müdahalesinin ağaçların göğüs çapı ve boyu üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır. Fakat mutedil alçak aralama işlemi ile kızılçamda dördüncü yıl sonunda ağaçlar arasındaki boşluklar neredeyse kapanmıştır. Bu alandaki ağaçların tepeleri bir sonraki gelişme döneminde birbirine girmeye başlayabilir. İkinci bir aralama müdahalesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ağaç tepelerinin birbirine girdiği ve meşcere çatısında hiçbir boşluğun kalmadığı takdirde cari hacim artımı düşmeye başlamaktadır. Kızılçam meşceresi, bonitetine ve bulunduğu sıklığa göre 14 - 25 yaşlarında sık kapalılığa ulaşmakta ve cari hacim artımı da yaklaşık bu yaşlarda en yüksek olmaktadır (Usta, 1996). Çalışmamızda hektardaki toplam hacim bakımından aralama müdahaleleri uygulanan alanlar ile kontrol alanları arasında istatistiksel anlamda önemli farklılık belirlenmemiştir. *Fraxinus angustifolia* Vahl. türünde üç yılın sonunda toplam hacim artımı kontrol alanlarına kıyasla müdahale uygulanan alanlarda daha yüksek çıkmıştır (Güney vd., 2021). Meşcere hacmi, aralama müdahalesi uygulanmayan meşcerelerde en yüksek değeri alırken, aralama şiddetinin artması ile azalmaktadır. Toplam hacim ve hacim artımı, aralama şiddetine bağlı olarak azalmaktadır (del Río vd., 2008). *P. sylvestris*'de şiddetli aralama müdahalesi hacim artımında yaklaşık %25'lik bir azalmaya neden olmuştur (Mäkinen ve Isomäki, 2004a).

Biyotik ve abiyotik zararlara karşı ormanları dirençli hale getirmek için bakım çalışmaları zamanında yapılmalıdır (OGM, 2012). Çalışmamızda uygulanan aralama müdahaleleri ile ağaçların stabilitesi artmıştır. Bu da aralama uygulanan alanlardaki ağaçların kontrole kıyasla daha fazla dayanıklılık gösterdiğine işaret eder. Göğüs çapı arttıkça $H/D_{1.30m}$ oranı azalmıştır. Dolayısıyla ağaçların sık olmasıyla daha yüksek $H/D_{1.30m}$ oranına sahip olunurken, ağaç stabilitesi daha düşük olmaktadır. Birçok çalışmada da benzer sonuç bulunmuştur (Mäkinen ve Isomäki, 2004b; Yılmaz vd., 2010; Bayar ve Deligöz, 2020). Yücesan vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında, orman sınırının altında bulunan ladin, kayın ve göknar ağaçlarında ortalama stabilite değerini sırasıyla 58, 80 ve 60 olarak tespit etmişlerdir. Çalışmamızda kontrol alanlarında 82 ve 72 olan ortalama stabilite değerleri, alçak aralama müdahalesi uygulanan alanlarda ortalama 64 (mutedil) ve 53'e (kuvvetli) düşmüştür. Sık meşcereler daha yüksek $H/D_{1.30m}$ oranına sahip olması sebebiyle rüzgâr zararına karşı daha düşük direnç göstermektedir (Topaçoğlu, 2007). Ayrıca meşcerenin açılmasıyla yeterli gövde sağlamlığına ulaşamamış bireylerde dayanışma azaldığından dolayı rüzgâr, kar, vb. dış etkenlere karşı koyamamaktadır (Özdemir vd., 1987).

Sonuç olarak, kızılçam meşcerelerinde uygulanan aralama müdahalelerinin ağaçların büyüme parametreleri (göğüs çapı, ağaç boyu ve stabilite) üzerinde olumlu etkisinin olduğu aşıkardır. Kızılçam hızlı büyüyen ve ışık isteği yüksek olan bir tür olması nedeniyle, düzenli bakım müdahalesi uygulanan meşcerelerde ilk aralama müdahalesi olarak kuvvetli alçak aralama müdahalesi tercih edilebilir. Kuvvetli alçak aralama müdahalesiyle toplam göğüs yüzeyinin % 30-

40'ının çıkarılması uygun olabilir. Fakat sırkılık-direklik çağına kadar düzenli bakım müdahalesi uygulanmayan meşcerelerde daha tedricen yaklaşım ilk aralama müdahalesi olarak mutedil alçak aralamanın uygulanması önerilebilir. Yükselti basamağı olarak kızılçamın yayılış alanı bakımından üst zonda yer alan bu meşcerelerde, meşcere stabilitesi açısından aralama müdahaleleriyle ağaçların dayanıklılıkları artsa da kar kırmaması vb. etkilere karşı tedbirli olunup, tedricen yaklaşım meşcere gelişimi açısından faydalı olabilir.

Kaynaklar

- Atar, F., 2022. Eight-year results of precommercial thinning on growth parameters in *Picea orientalis* (L.) link stands. Scandinavian Journal of Forest Research, 37(5-8): 330-337.
- Bayar, E., Deligöz, A., 2019. Burdur yöresi doğal Anadolu karaçamı meşceresinde sıklık bakımının üç yıllık sonuçları. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 20(1): 18-27.
- Bayar, E., Deligöz, A., 2020. Effects of precommercial thinning on growth parameters in *Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe stand. Journal of Forestry Research, 31(5): 1803-1811.
- Ceylan, B., 1986. Muğla Yöresindeki Genç Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Meşcerelerinde İlk Aralama Müdahaleleri Üzerine Silvikültürel Araştırmalar. Ormançılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No:196, Ankara.
- Çiçek, E., Yılmaz, F., Özbayram, A.K., Çetin, B., 2010. Aralamanın dişbudak (*Fraxinus angustifolia* ssp. *oxycarpa*) plantasyonunun gelişimine etkisi. III. Ulusal Karadeniz Ormançılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, s. 886-894.
- Çiçek, E., Yılmaz, F., Özbayram, A.K., Efe, M., Yılmaz, M., Usta, A., 2013. Effects of thinning intensity on the growth of narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* subsp. *oxycarpa*) plantations. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 37: 97-104.
- del Río, M., Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Löf, M., Ruiz-Peinado, R., 2017. A review of thinning effects on Scots pine stands: From growth and yield to new challenges under global change. Forest Systems, 26(2): eR03S.
- del Río, M., Calama, R., Cañellas, I., Roig, S., Montero, G., 2008. Thinning intensity and growth response in Sw-European Scots pine stands. Annals of Forest Science, 65 (3): 308-317.
- Eler, Ü., 1990. Antalya Bölgesi Doğal Sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) Meşcerelerinde Gecikmiş Aralama Kesimlerinin Gelişme Üzerine Etkileri. Ormançılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No: 44, Ankara.
- Eler, Ü., Keskin, S., 1989. Antalya Yöresi Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ağaçlandırma Alanlarında Gecikmiş İlk Aralamalarda Uygulanacak Silvikültürel İşlemin Gelişme Üzerine Etkileri. Ormançılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No:229, Ankara.
- Erkan, N., Aydın, A.C., Eler, Ü., 2017. Güney-batı Anadolu bölgesindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) kültür ormanlarında değişik silvikültürel uygulamalara göre artım ve büyüme ilişkileri. Ormançılık Araştırma Dergisi, 4(2): 90-99.
- Ferguson, D.E., Byrne, J.C., Wykoff, W.R., Kummet, B., Hensold, T., 2011. Response of ponderosa pine stands to pre-commercial thinning on nez perce and spokane tribal forests in The Inland Northwest, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Genç, M., 2011. Orman Bakımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, Isparta.
- Genç, M., Özkan, K., Özçelik, R., Güner, T., Gülsoy, S., Deligöz, A., 2012. Anadolu karaçamı [*Pinus nigra* ssp. *nigra* Arn. var. *caramanica* (Loudon) Rehder] meşcerelerinde uygulanan ilk aralamanın ekofizyolojik etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13: 5-13.
- Güner, S., Tüfekçioğlu, A., Çelik, N., 2017. Effects of thinning, liming, and nitrogen application on the growth of a young oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forest stand. Fresenius Environmental Bulletin, 26(11): 6727-6733.
- Güney, D., Atar, F., Turna, İ., Bayraktar, A., Günlü, A., 2021. *Fraxinus angustifolia* Vahl. plantasyonlarında büyüme parametreleri üzerine sıklık bakımının etkisi. Turkish Journal of Forest Science, 5(2): 33-351.
- Güney, D., Atar, F., Turna, İ., Günlü, A., 2022. Effects of precommercial thinning intensity on growth of *Fagus orientalis* Lipsky stands over 6 years. Journal of Forestry Research, 33: 937-947.
- Hasenauer, H., Burkhart, H.E., Amateis, R.L., 1997. Basal area development in thinned and unthinned loblolly pine plantations. Canadian Journal of Forest Research, 27: 265-271.
- Juodvalkis, A., Kairiukstis L., Vasiliauskas, R., 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in North-temperate forests of Lithuania. European Journal of Forest Research, 124: 187-192.
- Kaymakçı, E., Erkuloğlu, Ö.S., Eronat, A.F., 2000. Gördes İşletmesinde Karaçam (*Pinus nigra* Arnold.)'da Gecikmiş Sıklık Bakımı Üzerine Araştırmalar. Orman Bakanlığı Ege Ormançılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Bülten Serisi, No:15, İzmir.
- Kim, M., Lee, W.K., Kim, Y.S., Lim, C.H., Song, C., Park, T., Son, Y., Son, Y.M., 2016. Impact of thinning intensity on the diameter and height growth of *Larix kaempferi* stands in central Korea. Forest Science and Technology, 12(2): 77-87.
- Mäkinen, H., Isomäki, A., 2004a. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. Forest Ecology and Management, 201: 311-325.
- Mäkinen, H., Isomäki, A., 2004b. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees. Forest Ecology and Management, 201: 295-309.
- Mechergui, T., Boussaidi, N., Pardos, M., 2017. Short-term effect of early thinning on growth in stone pine in Tunisia. Journal of New Sciences, 46(2): 2509-2516.
- Odabaşı, T., 1985. Silvikültürde gelişmeler ve aralama. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, B(35): 55-72.
- OGM, 2012. Genç Meşcereler Bakım Seferberliği Eylem Planı 2012-2016. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM, 2021. Ormançılık İstatistikleri. Orman Genel Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>. Erişim: 13.09.2022.
- OİDUSP, 2020. Ormançılıkta İklim Değişikliğine Uyum Stratejik Planı. Orman Genel Müdürlüğü. <https://www.ogm.gov.tr/tr/haber-sitesi/Documents/ormanlarimizi-iklim-degisikligine-karsi-daha-direncli-yapacak-9-strateji-51-eylem-onerisi/Ormanlar%20C4%B1n%20C4%B0klm%20De%20C4%9F%20C5%9Fikli%20C4%9Fine%20Uyum%20Stratejisi%202020.pdf>. Erişim:10.12.2022.
- Öncül, Ö., Uğurlu, Ç., Köse, M., Tilki, F., 2016. Sıklık bakımının doğal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde çap ve göğüs yüzeyi üzerine etkisi. Ormançılık Araştırma Dergisi, 1(3): 29-37.
- Özbayram, A.K., Çiçek, E., 2018. Thinning experiments in narrow-leaved ash (*Fraxinus angustifolia* Vahl.) plantations: 10-year results. New Forests, 49: 585-598.
- Özçelik, R., Eler, Ü., 2009. Effects of release cutting on the development of young natural libanon cedar (*Cedrus libani* A. Rich) stands of Western Mediterranean Region of Turkey. Journal of Environmental Biology, 30(2):179-182.
- Özdemir, T., Eler, Ü., Şırlak, U., 1987. Antalya Bölgesi Doğal Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Ormanlarında Ayıklama Kesimleri (Sıklık Bakımı) ve Etkileri Üzerine Araştırmalar. Ormançılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi, No:184, Ankara.
- Rédei, K., Meilby, H., 2009. Effect of thinning on the diameter increment in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Stands. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 5: 63-74.

- Ruha, T., Varmola, M., 1997. Precommercial thinning in naturally regenerated Scots pine stands in Northern Finland. *Silva Fennica*, 31(4): 401-415.
- Sağır, H., 2017. Sarıçam meşcerelerinde ilk aralama ve budama müdahalelerinin büyüme üzerine etkisi: Kargı İşletmesi örneği. Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.
- Sıvacıoğlu, A., Durkaya, A., Vurdu, H., Benli, R., 2006. Taşköprü (Kastamonu) yöresi doğal sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde sıklık bakımlarının artım ve büyümeye etkisi. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(2): 153-166.
- Sumida, A., Miyaura, T., Torii, H., 2013. Relationships of tree height and diameter at breast height revisited: Analyses of stem growth using 20-year data an even-aged *Chamaecyparis obtusa* stand. *Tree Physiology*, 33: 106-118.
- Topaçoğlu, O., 2007. Ilgaz Dağı kuzey bakısındaki orman basamakları, meşcere kuruluşları ve silvikültürel özellikleri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tüfekçioğlu, U., 2006. Ülkemiz ormancılığında bakım çalışmalarının önemi ve sorunları. *Orman Mühendisliği Dergisi*, 7-8-9: 24-26.
- Usta, H.Z., 1992. Kızılcım ağaçlandırmalarında ilk aralama zamanı. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(42): 189-200.
- Usta, H.Z., 1996. Batı Akdeniz Bölgesindeki Kızılcım Kültür Ormanlarında İlk Aralamaların Artım ve Büyümeye Etkisi. *Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten Serisi*, No:5, Antalya.
- Yılmaz, E., Çalışkan, A., Alptekin, Ü., Tüfekçi, S., Aytar, F., Keleş, H., Yıldızbakan, A., 2010. Toros (Lübnan) Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) Sıklık Çağı Meşcerelerindeki Bakım Tedbirlerinin Belirlenmesi. *Çevre ve Orman Bakanlığı Doğu Akdeniz Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Serisi*, No:36, Tarsus.
- Yücesan, Z., Özçelik, S., Oktan, E., 2015. Effects of thinning on stand structure and tree stability in an afforested oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stand in Northeast Turkey. *Journal of Forestry Research*, 36(5): 1075-1082.
- Yücesan, Z., Üçler, A.Ö., Oktan, E., 2013. Fırtına vadisi yüksek dağ ormanlarında stabilite ve meşcere değeri. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1): 117-128.
- Zeide, B., 2001. Thinning and growth: A full turnaround. *Journal of Forestry*, 99(1): 20-25.

Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.)'nin mikro-morfolojik yapılarına ve sekonder metabolit içeriğine kuraklığın etkisi

Semra Kılıç^{a,*}, Havva Kaya^b

Özet: Kuraklık stresinin fesleğenin (*Ocimum basilicum* L.) mikro-morfolojik ve fizyolojik parametrelerine etkisini değerlendirmek amacıyla bitkiler kontrollü ortam koşullarında 3 ay boyunca yetiştirilmiştir. Kuraklık uygulamaları 5 günde bir sulama (kontrol grubu), 10 günde bir sulama (1. grup: düşük derecede stres), 15 günde bir sulama (2. grup: orta derecede stres) ve 20 günde bir 100 ml sulama (3. grup: şiddetli stres) yapılmıştır. Stresin en belirgin etkisi olarak orta seviyedeki kuraklık uygulamasında stoma sayısının arttığı ve stomaların küçüldüğü belirlendi. Stresin şiddeti arttıkça bu parametrelerde herhangi bir değişim olmadı. Benzer etki yaprağın her iki yüzeyinde bulunan capitat ve peltat glandular tüylerde de tespit edildi. Kuraklık stresi fitokimyasal içeriğini de etkiledi. Kuraklık stresi uygulamaları arasında önemli farklılıklar gözlenmemesine rağmen, kuraklık uygulamaları ile kontrol grubu arasındaki farklılık önemlidir. Sonuç olarak, uygulamalar arasındaki farklılıklar ile oluşan mikro-morfolojik ve fizyolojik değişimler fesleğen bitkisinin sekonder metabolit üretimini maksimum tutacak sulama düzeyi olarak belirlenmesini sağlamıştır.

Anahtar kelimeler: Fitokimyasal, Glandular tüy, Kuraklık stresi, *Ocimum basilicum*, Sekonder metabolit, Stoma

The effect of drought on micro-morphological structures and secondary metabolite content of basil (*Ocimum basilicum* L.)

Abstract: To evaluate the effect of drought stress on the micro-morphological and physiological parameters of basil (*Ocimum basilicum* L.), they were grown under controlled conditions for 3 months. Drought treatments were made which irrigation every five days (control group), ten days (group 1: normal stress), fifteen days (group 2: mild stress), and twenty days (group 3: under extreme stress) with 100 ml water. The most noticeable result of stress was found to be an increase in the number of stomata and a lowers in the size of the stomata in mild drought treatments. There was no differences in these parameters as the severity of stress increased. A similar effect appeared in the capitata and peltate glandular trichomes on both surfaces of the leaf. Drought stress also affected phytochemical content. While no significant differences which were observed between drought stress treatments, the difference between drought treatments and the control group was significant. As a result, the micro-morphological and physiological differences brought on by the variations in the applications allowed for the identification of the irrigation application that will maintain the secondary metabolite production of the basil plant at the maximum level.

Keywords: Phytochemical, Glandular trichome, Drought stress, *Ocimum basilicum*, Secondary metabolite, Stomata

1. Giriş

Su, bitki metabolizması ve fizyolojisinin temel bileşenidir. Bitkinin farklı kısımlarında metabolitlerin ve besinlerin taşınması için gerekli olan su, yetersizliği durumunda (kuraklık) bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini önemli oranda sınırlandıran hatta engelleyen bir abiyotik stres faktörüdür. Toprakta yeterli nemin bulunmadığı durumlarda bitki su ve besin temininde azalmaya ve aşırı terlemeden dolayı kuraklık stresine girer. Bu durum su potansiyelinin ve turgor basıncının düşmesine neden olur. Bu faktör bitkilerde şiddeti ve miktarı ile doğru orantılı olarak değişen morfolojik, anatomik ve fizyolojik süreçleri etkileyerek bitkinin büyümesini ve üretkenliğini olumsuz yönde etkiler (Gholamhoseini vd., 2013). Aynı zamanda, kuraklık stresine maruz kalan bitkiler morfolojik, anatomik ve fizyolojik modifikasyonlar geliştirerek ortama

adaptasyon sağlayabilir, özellikle stomatal değişimler (Pirasteh-Anosheh vd., 2016) ve sekonder metabolit üretimindeki artış ile sürdürülebilirlikleri mümkündür (Yadav vd., 2021). Stoma kuraklık stresinde porlarını kapatarak veya sayılarını azaltarak terleme ile su kaybını minimuma indirir. Kalınlaşmış kutikula ve mum katmanı, çukurda yerleşen stoma ve yoğun tüyler sayesinde terleme daha da azaltılır (Arve vd., 2011). Biyotik ve abiyotik strese maruz kalan bitkilerde genellikle sekonder metabolitler olmak üzere çeşitli fitokimyasalların sentezi teşvik edilir bu sayede bitkiler olumsuz ortam koşullarına adapte olarak stres toleransı geliştirebilirler (Jamwal vd., 2018). Diğer taraftan stres koşullarında üretimi artan sekonder metabolitler olağanüstü biyolojik aktiviteye sahip olduklarından yüzyıllardır endüstrinin birçok alanında geniş kullanım sahasına sahiptir.

✉ ^a Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Isparta, Türkiye

^b Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Bölümü, Isparta, Türkiye

@ * **Corresponding author** (İletişim yazarı): semrakilic@sdu.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 28.12.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 01.02.2023



Citation (Atıf): Kılıç, S., Kaya, H., 2023. Fesleğen (*Ocimum basilicum* L.)'nin mikro-morfolojik yapılarına ve sekonder metabolit içeriğine kuraklığın etkisi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 18-24.
DOI: [10.18182/tjf.1225579](https://doi.org/10.18182/tjf.1225579)

Tropik ve subtropik iklim bitkisi olan fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) *Lamiaceae* familyasına ait uçucu yağ içeren önemli bir tıbbi ve aromatik bitkidir (Saha vd., 2016). Fesleğen içerdiği terpenler, fenilproponoidler, alkoller ve aldehitleri gibi fitokimyasallar sayesinde gıda endüstrisinde tatlandırıcı ve koku verici olarak kullanılmakla birlikte geleneksel tıpta aromaterapi, gaz söktürücü, idrar yolları antiseptiği, ağrı dindirici, balgam söktürücü, öksürük kesici, ağız ve diş kokularını giderici, ishal ve kronik dizanteride, kardiyovasküler hastalıklar, alzheimer ve çeşitli kanser tedavisinde de etkilidir (Baytop, 1999; Purushothaman vd., 2018; Widjaja ve Savira, 2019).

İlaç ve gıda endüstrisinin önemli hammadde kaynağı olan fesleğen, ihlamur, adaçayı, papatya, kekik gibi tıbbi ve aromatik bitkiler tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için doğadan yasal olmayan yollarla bilinçsizce temin edilmektedir (Korkmaz ve Fakir, 2019). Bu nedenle hem artan talebi karşılamak hem de günümüz koşullarında karşı karşıya kaldığımız kuraklığın fesleğenin gelişimine ve sekonder metabolit içeriğine etkisini belirlemeyi amaçladık. Başta ilaç sanayi olmak üzere tıp, gıda ve kozmetik gibi endüstrilerde geniş kullanım alanına sahip fesleğenin içerdiği fitokimyasalların kalite ve miktarının artırılması endüstrinin farklı dallarında hammadde temini için önemlidir. Stres koşullarında miktarı ve içeriği değişen sekonder metabolitlerin kontrollü stres ortam koşullarında üretimlerinin artırılması ve bu esnada bitkide meydana gelen morfolojik ve fizyolojik değişimlerin tanımlanması ile mümkündür. Bu nedenle bu bitkinin kurak ortam koşullarında morfolojik, anatomik ve fizyolojik parametrelerinin aydınlatılıp, ülkemiz topraklarında yetiştirilebilirliğinin ve sürdürülebilir bir tarım ürününe dönüştürülebilmesi için önemli bir bilgi kaynağı oluşturulabilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) Sweet çeşidine ait tohumlar kullanılmıştır. Tohumlar kumlu-killi toprak ile organik maddece zengin çiçek toprağı eşit (1-1) oranda karıştırılarak hazırlanan saksılara (150 x 120 mm) 20'şer adet ekildi. Çimlenme sürecinde bitki büyüme odasına yerleştirilen saksılar düzenli aralıklarla sulandı. Yaklaşık 20 gün sonra fide çıkışı ile birlikte düzensiz büyüme gösteren fideler ayıklanarak çalışma her saksıda 10 adet fide olacak şekilde başlatıldı. Kuraklık uygulamaları kontrol grubu dahil olmak üzere 4 farklı sulama periyodu ile gerçekleştirildi. Buna göre 5 günde bir (kontrol), 1. uygulama 10 günde bir (1. grup: düşük derecede stres), 2. uygulama 15 günde bir (2. grup: orta derecede stres), 3. uygulama 20 günde bir (3. grup: şiddetli stres) 100 ml su uygulanarak gerçekleştirildi. Kontrol uygulamasının 5 günlük periyot olarak uygulanması toprak yüzeyinin nemliliğine göre belirlenmiştir. Her bir uygulama 3 tekrarlı yapıldı. Uygulama fide büyümesi için hazırlanan standart ortam koşullarında (sıcaklık: 20 ±2; nispi nem 60±% 5, ışık periyodu 12-saat, ışık şiddeti 160 µmol m⁻² s⁻¹ PAR) 3 ay boyunca sürdürüldü. Kuraklığın fesleğen fidelerinin bazı morfo-anatomik ve fizyolojik parametrelerine etkisini belirlemek için uygulama sonunda amaca uygun toplanan

örnekler inceleme başlangıcına kadar uygun ortam koşullarında muhafaza edildi.

2.2. Yöntem

Fesleğen bitkisinin her bir uygulamaya ait yapraklarının alt ve üst yüzeylerinden alınan yüzeyel kesitler ile stoma indeksi (Denklem 1) (Rengifo vd., 2002) ve stomatal alan (Denklem 2) (SA, µm²) (Orcen vd., 2013) aşağıdaki formüller kullanılarak belirlenmiştir. Her bir uygulama için ortalama 50 alan tarandı. Stoma boyutları (boy ve genişlik), yaprakların her iki yüzeyleri için ışık mikroskobu altında x40 büyütmede oküler mikrometre kullanılarak ölçüldü, kalibre edildi ve µ olarak belirlendi.

$$SI = \left[\frac{s}{e + s} \right] \times 100 \quad (1)$$

s= stoma sayısı

e= epidermal hücre sayısı

$$SA = \left[\pi \times \frac{Wg \times Lg}{4} \right] \quad (2)$$

Wg; stoma genişliği (µm), Lg; stoma boyu (µm)

Her uygulamaya ait yaprakların her iki yüzeyinde bulunan glandular tüylerin (peltat ve kapitat) morfolojisi ve dağılımı Turner vd. (2000) tarafından tanımlandığı şekilde sınıflandırıldı. Tüylerin yoğunluğu belirlemek için her iki yüzeyde 50 mikroskobik alanda (0.04 mm²) sayım yapıldı.

Tüylerin ve stomaların submikroskopik yapılarını incelemek için SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntü analizi kullanıldı. Taze yaprak örnekleri çift taraflı yapışkan bant ve ince bir karbon filmi ile püskürterek kaplanmış alüminyum çubuklar üzerine monte edildi. Yaprakların her iki yüzeyine ait tüy ve stoma LEO Stereoscan 360 SEM kullanılarak farklı büyütmelerde görüntülendi.

Kurak uygulamalarının fesleğen bitkisinin içerdiği fitokimyasal bileşimine ve oranlarına etkisi GC/MS (uçucu yağlar) ve HPLC (fenolik) ile belirlendi.

2.2.1. Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

Numunelerin SPME yöntemiyle ekstraksiyonu yapılarak hazırlanmış ve GC-MS analizi ile uçucu yağ analizi yapılmıştır. Analizler Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM-Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC)

1 g numune tartılarak 10 ml metanol ile homojenize edildi ve 4000 rpm'de 5 dakika santrifüjlendi. Süpernatant, 40 °C'de bir vakumlu döner buharlaştırıcıda kurutuldu. Kuru tortular, 500 µl metanol içerisinde çözündürüldü ve 0.02 µm Millipore filtreden süzüldü. Bu şekilde numuneler analiz için hazırlandıktan sonra fenolik madde tayini HPLC yöntemiyle yapılmıştır. Analizler Süleyman Demirel Üniversitesi YETEM-Yenilikçi Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. İstatistiksel analiz:

Tüm istatistiksel analizler, "IBM SPSS Statistics 20" kullanılarak yapıldı. İstatistiksel anlamlılık, iki yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılarak test edildi. Ortalamalar, tek yönlü ve çok değişkenli varyans analizi ve ardından Duncan'ın çoklu aralık testleri kullanılarak karşılaştırıldı. Bireysel ortalamalar arasındaki farklar $P \leq 0.05$ 'te önemli kabul edildi, Windows 10 için Excel yazılımında grafikler çizildi. Morfolojik ve fizyolojik parametrelerin analizi üç tekrarla yapıldı ve sonuçlar ortalama \pm standart sapma (SD) olarak sunuldu.

3. Bulgular ve tartışma

Bitkilerin kuraklık stresine ilk tepkisi stomalarını kapatmasıdır. Bu sayede terleme azalır ve CO₂ girişinin minimuma düşer. Bunun sonucunda bitkide yükseltgenmiş NADPH+H molekülü aşırı birikir. Bitkiler bu durumu geri çevirmek için sekonder metabolit mekanizması dahil tüm reaksiyonları teşvik ederler (Kleinwächter ve Selmar, 2014). Bu nedenle kuraklık uygulamaları belirli dereceye kadar sekonder metabolit üretimini olumlu etkiler. Fesleğin fidelerine uygulanan kuraklık denemelerinin ilk etkisi stomalar gözlemlenerek incelenmiştir. Ardından bitkilerin sekonder metabolit içeriğindeki değişimlere bakarak kuraklığın etkisi değerlendirilmiştir.

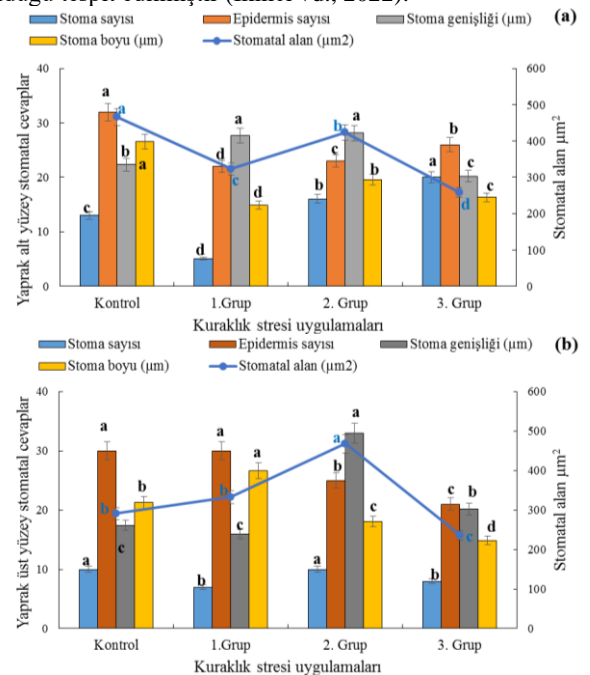
Kuraklık bitkilerin dışı açılan tek kapıları olan ve fotosentetik mekanizmanın kilit unsuru niteliğindeki stomaların sayısında ve büyüklüğünde önemli oranda değişimlere neden olduğundan bitki büyüme ve gelişimini olumsuz etkiler (Casson ve Gray, 2008).

Fesleğin fidelerine 3 farklı sulama rejimi ile uygulanan kuraklık stresinin yapraklardaki stoma ve epidermis sayılarına etkisi değişiklik gösterdi ($P \leq 0.05$). Bu etki aynı bitkiye ait yaprağın alt (Şekil 1a) ve üst yüzeylerinde de (Şekil 1b) farklıydı. Yaprığın alt yüzeylerinde kuraklık ile birlikte stoma ve epidermis sayıları, kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında kademeli olarak değişti. Buna göre stoma sayısı kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 1. grupta %62 azalırken, 2. ve 3. grupta %19 ve %35 artış gösterdi. Buna karşın stomaların genel olarak küçüldüğü belirlendi. Buna rağmen kuraklık uygulamalarında kontrol grubuna göre 1. grupta %19, 2. grupta %22 artarken, 3. grupta ise yine kontrol grubuna göre %10 azaldı. Benzer şekilde stomanın uzunluğu kontrolle karşılaştırıldığında 1. grupta %45, 2. grupta %27 ve 3. grupta %39 azaldığı tespit edildi. Kuraklığın stomatal parametrelere etkisinin toplam sonucunun değerlendirileceği stomatal alan verileri ise kuraklığın etkisinin kademeli değişimini açıkladı. Buna göre stomatal alan kontrol uygulaması ile karşılaştırıldığında 1. grupta %31, 2. grupta %10 ve 3. grupta %45 azalma gözlemlendi. Kuraklığın fesleğenin alt yüzey yapraklarındaki stomalara etkisi en fazla 20 günlük sulamanın yapıldığı 3. grup uygulamasında tespit edildi (Şekil 3).

Yaprığın üst yüzeyinde stoma parametrelerine kuraklığın etkisi incelendiğinde yaprak alt yüzeyinde tespit edilenlerle benzer sonuçlar elde edildi. Buna göre fesleğin fidelerinin yaprak üst yüzeylerindeki stoma sayısı kontrolle karşılaştırıldığında 1. grupta %30, 2. grupta %10 ve 3. grupta %20 azaldı. Benzer azalış stomanın uzunluğunda belirlenmesine rağmen aynı etki stomanın genişliğinde tespit edilemedi. Buna göre stoma genişliği kontrolle karşılaştırıldığında 1. grupta %12 azalırken, 2. grupta %47

ve 3. grupta %15 artış göstermesi oldukça ilginçti. Bu durum stomanın genişlemesini sağlayan turgor basıncı artışının kuraklık seviyesine göre belirlenmesi ile ilgili olabilir. Stomaların uzunluğu ise kontrolle karşılaştırıldığında sadece 1. grupta %20 artış olduğu, 2. ve 3. grupta %15 ve %34 oranında azaldığı belirlendi. Kuraklığın stoma parametrelerine etkisinin genel değerlendirilmesi olarak tanımlanan stomatal alan ise kontrol ile karşılaştırıldığında 1. grupta %13 ve 2. grupta %38 artış gösterdiği, 3. grupta ise %19 azaldığı tespit edildi (Şekil 3).

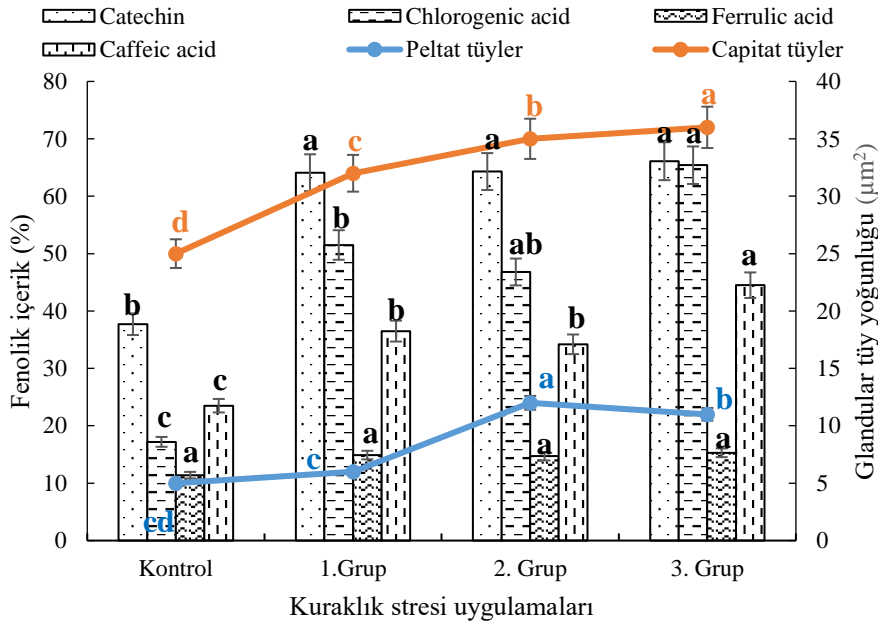
Kuraklık stresinde stomatal cevaplar genellikle sayı ve büyüklüklerini değiştirerek transpirasyon ile kaybedilen suyu minimuma düşürmek şeklinde olur. CO₂ alınımından ödün vererek gerçekleştirilen bu değişim yaprakların daha az soğumasına, besinlerin daha az alınımına ve taşınmasına neden olur (Farooq vd., 2009). Stres koşullarında meydana gelen stomatal cevaplar sayesinde bitkiler olumsuz çevre şartlarına adaptasyonda başarılı olur. Kuraklık stresinde meydana gelen stomatal cevaplar kuraklığa maruz kalan bitkinin su ihtiyacına göre farklılık gösterir. Örneğin kabak bitkisine uygulanan kuraklıkta stoma sayıları azalırken, çimenlerde stoma yoğunluğundaki artışı belirlendi (Bertolino vd., 2019). 5 hafta kuraklık uygulanan mısır bitkilerinde stomaların yoğunluğunda görülen önemli azalmanın mısır bitkilerinin olumsuz çevre şartlarına adaptasyonuna katkı sağlamak olduğu sonucuna varılmıştır (Zhao vd., 2015). Yerfıstığı bitkilerine %25, %50, %75 ve %100 buharlaşma oranları dikkate alınarak uygulanan kuraklık stresinde stoma yoğunluğu, epidermal hücre sayısı ve stoma indeksinin arttığı, stoma boyu ve eni ise önemli oranda azaldığı belirlenmiş (Çınar vd., 2016). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kurak ve yarı kurak iklimlerinde yayılış gösteren alıç bitkisinin stoma karakterleri incelendiğinde birim alana düşen stoma sayısının fazla, stoma büyüklüklerinin ise oldukça küçük olmasının nedeni bu bitkilerin kurak ortama adaptasyonlarını sağlamak olduğu tespit edilmiştir (İkinci vd., 2022).



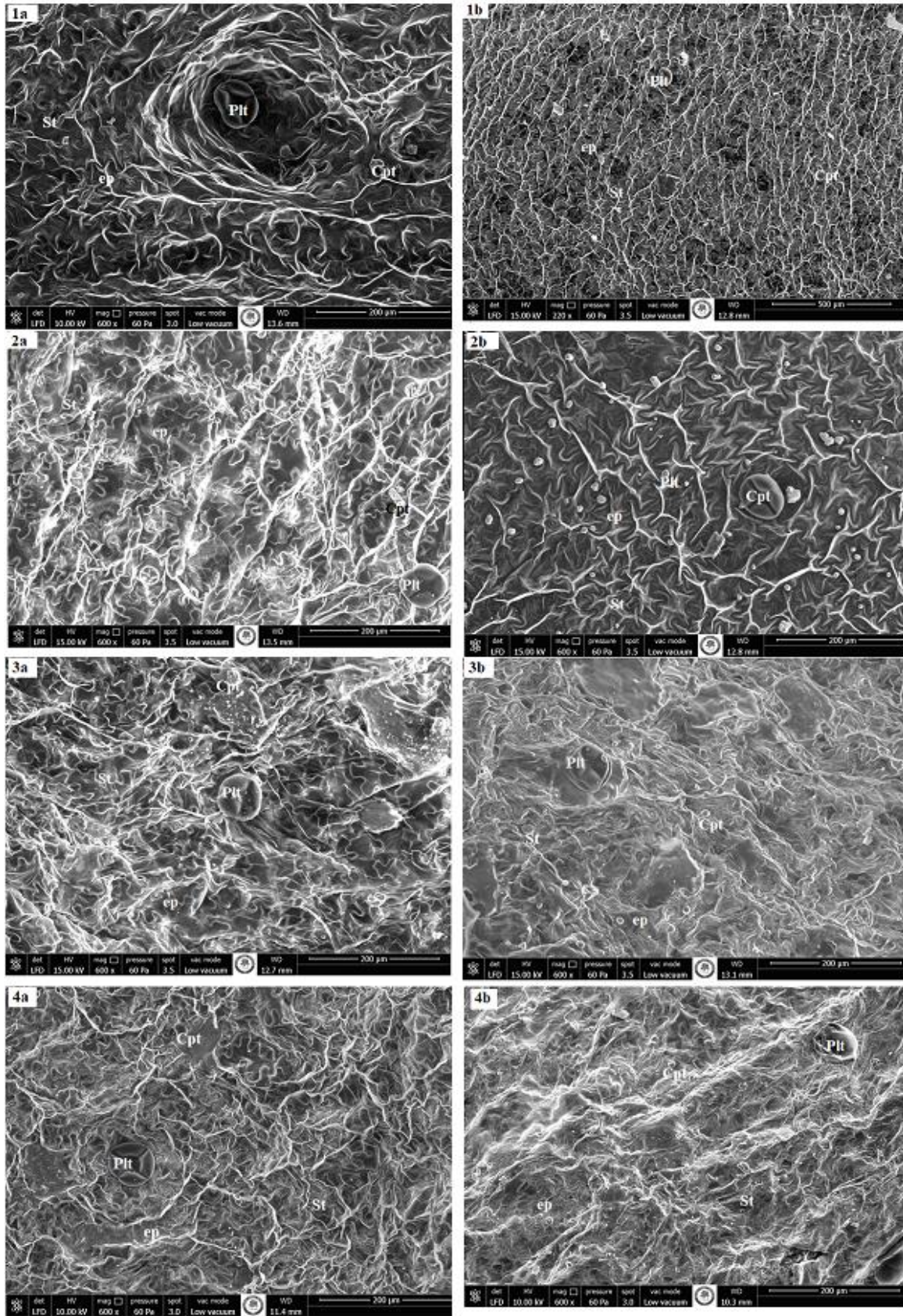
Şekil 1. Fesleğen bitkisinde kuraklık uygulamalarının stomatal parametrelere etkisi. a: yaprak alt yüzey, b: yaprak üst yüzey μm^2 (Farklı harfler ortalamalar arasında farklılıkları ifade eder; $P \leq 0.05$)

Kuraklık stresi bitkilerin fizyolojik mekanizmasını etkileyerek sekonder metabolit üretim süreçlerinde önemli değişikliklere neden olan sınırlayıcı bir faktördür. Fesleğin (*Ocimum basilicum* L.) zengin ve aromatik uçucu yağ bileşenleri ile bilinen önemli bir tıbbi bitkidir (Karaca vd., 2017). Fesleğin yapraklarından elde edilen en önemli fitokimyasallar linalool, ocimene, geraneol, eugenol, α -Pinene, β -Pinene, estragole, methyl cinnamate, 1,8-cineole, cinnamate'dir. Önemli antioksidan bileşikler ise caffeic acid, quercetin, catechin, ferrulic acid ve chlorogenic acid'dir (Nacar ve Tansi, 2000). Bu bileşikler fesleğin yapraklarının her iki yüzeyinde yer alan glandular tüylerde depolanır (Fahn, 1979; Turner vd., 2000). Farklı kuraklık uygulamaları glandular (capitat ve peltat) tüylerin yoğunluğunu değiştirdi ($P \leq 0.05$). Bu değişim fitokimyasal içeriğine de yansdı (Şekil 2). Kuraklık, ışık, sıcaklık gibi çeşitli abiyotik strese maruz kalan bitkilerde glandular tüylerin sayı ve yapısında değişiklikler meydana gelebilir (Karabourniotis vd., 2020). Peltat tüyler kontrol grubu ile karşılaştırıldığında 1. grup uygulamada %17, 2. grup uygulamada %59 ve 3. grup uygulamada %55 artış gösterdi. Capitat tüyler ise kontrolle karşılaştırıldığında 1. grupta %22, 2. grupta %29 ve 3. grupta %31 artış gösterdi. Peltat tüylerdeki artış oranı capitat tüylere oranla oldukça yüksekti. Bu oran peltat tüylerin 2. grup uygulamasında %59 artış oranı ile en yüksek tespit edildi (Şekil 3). Ancak bu artış oranının 3. grup uygulamasında azalma eğilimi

göstermesi kuraklık uygulamalarının belirli seviyeye kadar sekonder metabolit üretimini teşvik etmesi ile eşleştirilebilir. Fesleğin bitkisinde tespit edilen catechin, chlorogenic acid, caffeic acid ve ferrulic acid gibi fenolik bileşiklerin oranı kuraklık uygulamaları arasında çok farklı olmamasına rağmen ($P \geq 0.05$), kontrol grubu ile bu bileşiklerin oranları oldukça farklıydı ($P \leq 0.05$). Örneğin catechin kontrol uygulamasında %37.7 iken 1. grup uygulamasında %64.1, 2. grup uygulamasında %64,3, 3. grup uygulamasında ise %66.1 oranı tespit edildi. Belirlenen diğer bileşikler de benzer oranlarda değişiklik gösterdi. Bitkilerin kurak ortam koşullarında ikincil metabolit sentezini arttırdıklarının belirlendiği bir çalışmada kimyon (*Cuminum cyminum* L.)'un kuraklık stresinde toprak üstü kısımlarında uçucu yağ ve fenolik içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Bettaieb vd., 2011). Bitkiler çeşitli stres faktörlerine maruz kaldıklarında yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için reaktif oksijen türleri (ROS) üretirek oluşan oksidatif stres ile birlikte üretimi artan fitokimyasallar ROS'u temizleyen en uyumlu doğal bileşiklerdir. Bu sayede bitki strese maruz kaldığında içsel bazı mekanizmaları harekete geçirerek stres ortamına adaptasyon sağlayabilir (Sharma vd., 2012). Ancak stresin devamlılığı artan ROS'un yıkıcı etkisinin üstesinden gelemeyeceğinden bitki bu durumdan olumsuz etkilenir (Yang vd., 2009). Kısacası stres belirli bir sürede ve şiddette bitkinin sekonder metabolit üretimini teşvik edebilir (Takshak ve Agrawal, 2019).



Şekil 2. Fesleğin bitkisinin glandular tüyler ile fenolik içeriklerine kuraklık uygulamalarının etkisi (Farklı harfler ortalamalar arasında farklılıkları ifade eder; $P \leq 0.05$)



Şekil 3. Fesleğen'in mikro-morfolojik yapılarına kuraklığın etkisi. 1: Kontrol grubu; 2: düşük derecede kuraklık stresi; 3: Orta derecede kuraklık stresi; 4: Şiddetli kuraklık stresi; a: yaprak alt yüzey, b: yaprak üst yüzey. (Plt: peltat tüy, Cpt: capitat tüy, St: Stoma, ep: Epidermis)

Fesleğen bitkilerine kuraklığın etkisi uçucu yağ oranları ve içeriklerinde de belirli oranlarda değişime neden oldu (Çizelge 1). Bu etki en fazla kontrol grubu ile kuraklık uygulamaları arasında en yüksek oranda belirlendi ($P \leq 0.05$). Yaklaşık 44 farklı kimyasalın belirlendiği uygulamalarda oranlar birbirinden farklıydı. Hatta kontrol grubunda belirlenemeyen, ancak uygulamalarda tespit edilen bazı bileşiklerin varlığı da oldukça ilginçti. Bunun nedeni, bazı fitokimyasalların sadece stres koşullarında ortaya çıkan tepki mekanizmasının bir ürünü olarak sentezlenmesi olabilir. Örneğin, α -Pinene, Sabinene, Limonene kontrol grubunda tespit edilmemesine rağmen kuraklık uygulamalarında farklı oranlarda tespit edildi. Örneğin α -Pinene kontrol grubunda tespit edilmemesine rağmen 1. grup uygulamada 0.14, 2. grup uygulamada 0.28, 3. grup uygulamada ise 0.19 oranında tespit edildi. Benzer şekilde Sabinene 1. grup uygulamasında 0.11, 2. grup uygulamasında 0.35, 3. grup uygulamasında 0.29 oranında tespit edildi. Fesleğen fidelerine uygulanan kuraklık uçucu yağ içeriğinde ve miktarında değişimlere neden olarak, içerdiği fitokimyasalın kalitesini artırıcı etki gösterdiği (Sarah vd., 2011) sonucuna varılabilir. Çevresel adaptasyon ile ilişkili biyolojik faktörler olarak görev yapan uçucu yağların içeriği ve miktarı çeşitli abiyotik stres faktörlerinden etkilenir (Jiao vd., 2021). 3 farklı kuraklık uygulamasına maruz bırakılan *Dracocephalum moldavica* L. bitkilerinde orta düzeyde kuraklık uygulamasında en yüksek uçucu yağ oranı (%0.58) tespit edilmiştir (Khaleghnezhad vd., 2021). Benzer şekilde iki farklı *Salvia* türüne 3 farklı sulama rejimi uyguladığında en yüksek uçucu yağ oranının (%2.20) orta dereceli kuraklık uygulamasında olduğu tespit edilmiştir (Khodadadi vd., 2022). Baudoin vd. (2022), yaptıkları çalışmada Oregano (kekik) ve Rosemary (biberiye) bitkilerine 5 aşamada sulama rejimi içeren kuraklık ve aşırı sulama stresi uygulamıştır (şiddetli aşırı sulama, orta düzeyde aşırı sulama, standart sulama, orta düzeyde yetersiz sulama ve şiddetli yetersiz sulama). Bu streslerin uçucu yağ içeriğine ve bileşimine etkisi incelendiğinde kekik fitokimyasal oranları orta düzeyde yetersiz sulamada önemli artış gösterirken, biberiye fitokimyasal oranlarında herhangi bir değişiklik olmamıştır.

Kuraklık stresindeki biberiyenin fitokimyasal oranlarının değişmemesi, biberiyenin bazı morfolojik özelliklerinden kaynaklanıyor olabileceği belirtilmiştir (Baudoin vd., 2022). Ayrıca durumun bitkinin gün boyunca stoma açıklığını sıkı bir şekilde kontrol altında tutması ve yapraklarında işlev gören foto-koruma ve antioksidan-koruma gibi bazı mekanizmalarını aktive ederek strese karşı tolerans geliştirmesinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Baudoin vd., 2022).

Çizelge 1. Kuraklık uygulamalarının fesleğen bitkisinin fitokimyasal bileşimine etkisi

Phytochemicals	Control (ppm)	1.Grup (ppm)	2.Grup (ppm)	3. Grup (ppm)
β -Pinene	0.14	-	-	0.32
α -Pinene	-	0.14	0.28	0.19
Sabinene	-	0.11	0.35	0.29
β -Myrcene	0.63	0.54	0.55	0.47
Limonene	-	0.17	0.34	0.23
1,8-Cineole	1.88	3.02	5.06	3.66
β -Ocimene	2.04	1.81	1.82	1.45
Linalool	19.17	20.09	13.45	14.34
δ -3-Carene	0.16	0.18	0.18	0.16
Eugenol	0.16	0.48	0.83	0.68
Methyleugenol	1.77	4.21	6.35	5.58
Caryophyllene	0.14	0.23	0.34	0.24
Cinnamic acid	57.90	54.38	55.8	55.50
α -Bergamotene	0.72	1.53	2.69	2.7
α -Humulene	0.99	1.27	1.42	1.49
Germacrene	3.48	2.48	2.45	2.85
γ -Cadinene	2.59	1.74	1.60	1.90
α -Muurotol	2.06	0.96	-	1.16

4. Sonuç ve öneriler

Kuraklık bitki büyüme ve gelişimini etkileyen en önemli abiyotik streslerden biridir. Bitkiler strese maruz kaldıklarında morfolojik, anatomik ve fizyolojik değişimler göstererek stres koşullarından en az zarar görecektir şekilde kendilerini düzenlerler. Fesleğen bitkisine 3 ay boyunca düzenli olarak 3 farklı sulama periyodu uygulandı ve kuraklığın fesleğen bitkisinde meydana getirdiği morfo-anatomik ve fizyolojik değişimler kontrol grubu ile karşılaştırılarak tanımlanmıştır. Fesleğen bitkilerine uygulanan kuraklığın şiddetine bağlı olarak stoma sayısı ve büyüklüklerinin değiştiği buna bağlı olarak fitokimyasal içeriklerinde de kısmi değişikliklerin olduğu belirlendi. Uygulamalar arasındaki farklılıklar ile oluşan mikro-morfolojik ve fizyolojik değişimler fesleğen bitkisinin sekonder metabolit üretimini maksimum düzeyde tutacak sulama uygulamasının (şiddetli kuraklık) belirlenmesini sağladı.

Açıklama

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi SDU BAP 8289 nolu Proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Arve, L.E., Torre, S., Olsen, J.E., Tanino, K.K., 2011. Stomatal responses to drought stress and air humidity. In: Abiotic Stress in Plants-Mechanisms and Adaptations (Ed: Shanker, A., Venkateswarlu, B.), London, IntechOpen, pp. 268-280.
- Baudoin, D.C., Bush, E., Gauthier, T., Hernandez, A.B., Kirk-Ballard, H., 2022. Effects of irrigation and drought on growth and essential oil production in *O. vulgare* and *R. officinalis*. American Journal of Plant Sciences, 13(5): 659-667.
- Baytop, T. 1999. Türkiye'de Bitkiler ile Tedavi, Geçmişte ve Bugün. Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul.
- Bertolino, L.T., Caine, R.S., Gray, J.E., 2019. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. Frontiers in Plant Science, 10: 225.

- Bettaieb, I., Bourgou, S., Sriti, J., Msaada, K., Limam, F., Marzouk, B., 2011. Essential oils and fatty acids composition of Tunisian and Indian cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds: A comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(11): 2100-2107.
- Casson, S., Gray, J.E., 2008. Influence of environmental factors on stomatal development. *New Phytologist*, 178(1): 9-23.
- Çınar, N., Aydınoşakir, K., Dinç, N., Büyüktaş, D., Işık, M., 2016. Yerfıstığında (*Arachis hypogaea* L.) su stresinin stoma özellikleri üzerine etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 29(2): 79-84.
- Fahn, A., 1979. *Secretory Tissues in Plants*. Academic Press, London.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. In: *Sustainable Agriculture* (Ed: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S., Alberola, C.), Springer, Dordrecht, pp. 153-188.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., Khodaei-Joghan, A., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. *Agricultural Water Management*, 117: 106-114.
- İkinci, A., Ak, B.E., Dikmetaş, B., Hatipoglu, I.H., 2022. Şanlıurfa ve Diyarbakır illerinde yetişen alıç (*Crataegus* spp.) genotiplerinin bazı meyve, yaprak ve stoma özelliklerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 9(4): 850-859.
- Jamwal, K., Bhattacharya, S., Puri, S., 2018. Plant growth regulator mediated consequences of secondary metabolites in medicinal plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 9: 26-38.
- Jiao, P., Wu, Z., Wang, X., Jiang, Z., Wang, Y., Liu, H., Qin, R., Li, Z., 2021. Short-term transcriptomic responses of *Populus euphratica* roots and leaves to drought stress. *Journal of Forestry Research*, 32(2): 841-853.
- Karabourniotis, G., Liakopoulos, G., Nikolopoulos, D., Bresta, P., 2020. Protective and defensive roles of non-glandular trichomes against multiple stresses: Structure–function coordination. *Journal of Forestry Research*, 31(1): 1-12.
- Karaca, M., Kara, Ş.M., Özcan, M.M., 2017. Bazı fesleğen (*Ocimum basilicum* L.) popülasyonlarının herba verimi ve uçucu yağ oranının belirlenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2): 160-169.
- Khaleghnezhad, V., Yousefi, A.R., Tavakoli, A., Farajmand, B., Mastinu, A., 2021. Concentrations-dependent effect of exogenous abscisic acid on photosynthesis, growth and phenolic content of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Planta*, 253(6): 1-18.
- Khodadadi, F., Ahmadi, F.S., Talebi, M., Moshtaghi, N., Matkowski, A., Szumny, A., Rahimmalek, M., 2022. Essential oil composition, physiological and morphological variation in *Salvia abrotanoides* and *S. yangii* under drought stress and chitosan treatments. *Industrial Crops and Products*, 187: 115429.
- Kleinwächter, M., Selmar, D., 2014. Influencing the product quality by applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. In: *Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment* (Ed: Ahmad, P., Wani, M.), Springer, New York, pp. 57-73.
- Korkmaz, M., Fakir, H., 2019. Determination of final consumer characteristics of non-wood forest products. *Turkish Journal of Forestry*, 10(2): 10-20.
- Nacar, S., Tansi, S., 2000. Chemical components of different basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown in Mediterranean regions in Turkey. *Israel Journal of Plant Sciences*, 48(2): 109-112.
- Orcen, N., Nazarian, G., Gharibkhani, M., 2013. The responses of stomatal parameters and SPAD value in asian tobacco exposed to chromium. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22(5): 1441-1447.
- Pirasteh-Anosheh, H., Saed-Moucheshi, A., Pakniyat, H., Pessarakli, M., 2016. Stomatal responses to drought stress. *Water Stress and Crop Plants: A Sustainable Approach*, 1: 24-40.
- Purushothaman, B., Prasanna Srinivasan, R., Suganthi, P., Ranganathan, B., Gimbun, J., Shanmugam, K., 2018. A comprehensive review on *Ocimum basilicum*. *Journal of Natural Remedies*, 18(3): 71-85.
- Rengifo, E., Urich, R., Herrera, A., 2002. Water relations and leaf anatomy of the tropical species, *Jatropha gossypifolia* and *Alternanthera crucis*, grown under elevated CO₂ concentration. *Photosynthetica*, 40: 397-403.
- Saha, S., Monroe, A. Day, M.R., 2016. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2):181-186.
- Sarah, K., Amir, M., Hassan, S., Khodayar, H., Ahmad, K., 2011. The effect of drought stress on growth parameters, essential oil yield and constituent of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(22): 5360-5365.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 2012: 217037.
- Takshak, S., Agrawal, S.B., 2019. Defense potential of secondary metabolites in medicinal plants under UV-B stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 193: 51-88.
- Turner, G.W., Gershenzon, J., Croteau, R.B., 2000. Development of peltate glandular trichomes of peppermint. *Plant Physiology*, 124: 665-680.
- Widjaja, S.S., Savira, M., 2019. Glucose lowering effect of basil leaves in diabetic rats. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(9): 1415.
- Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, M.S., Narayan, O.P., 2021. Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Gene Reports*, 23: 101040.
- Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X., Qian, Y., 2009. Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 58(2): 131-136.
- Zhao, W., Sun, Y., Kjelgren, R., Liu, X., 2015. Response of stomatal density and bound gas exchange in leaves of maize to soil water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(1): 1-9.

Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi

İbrahim Dursun^{a,*} , Ahmet Alper Babalık^a 

Özet: Araştırma Burdur Gölü Havzasının morfometrik analiz parametrelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca morfometrik parametreler yardımıyla havzadaki erozyon durumu değerlendirilmiştir. Araştırmanın veri altyapısı SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)'den elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan akarsu dizinlerinin belirlenmesi ArcGIS 10.2 programı aracılığıyla yapılmıştır. Bu bağlamda; havzanın çizgisel, alansal ve rölyef morfometrelerine ait parametrelerin, morfometrik analiz sonuçlarına bakıldığında; çatalanma oranı 3.42, akarsu uzunluk oranı 3.46, drenaj yoğunluğu 1.25, dere sıklığı 0.95, form faktörü 0.25, gravelius indeksi 2.66, dairesellik oranı 0.14, havza uzunluk oranı 0.28, havza rölyefi 1534, rölyef oranı 0.013, bağlı rölyef 0.29, engebellik değeri sırasıyla 1.92 ve hipsometrik integral değeri 0.28 olarak bulunmuştur. Genel olarak havzanın infiltrasyon kapasitesinin yüksek, akarsu sıklığı ve taşkın hassasiyetinin düşük olduğu sonucu bulunmuştur. Morfometrik analizler sonucu, sahanın kurak iklim şartları ve zayıf bitki örtüsüne sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak morfometri parametrelerinin büyük çoğunluğunda erozyon riskinin nispeten az olduğu kanısına varılmıştır. Bu sonuçlara göre, morfometrik analizlerin, havzadaki erozyon durumunu yorumlamada önemli bir araç olduğu söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Havza morfometrisi, Erozyon, Rölyef, Burdur Gölü Havzası

Evaluation of morphometric parameters and erosion status in Burdur Lake Watershed

Abstract: The research was carried out to determine the morphometric analysis parameters of the Burdur Lake Watershed. In addition, the erosion situation in the watershed has been evaluated with the help of morphometric parameters. The data basis of the research was created using the Digital Elevation Model (DEM) obtained from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The determination of the stream indexes used in the analyzes was made via the ArcGIS 10.2 program. In this context; When the morphometric analysis results of the parameters of the linear, areal and relief morphometries of the watershed are examined; bifurcation ratio 3.42, stream length ratio 3.46, drainage density 1.25, stream frequency 0.95, form factor 0.25, gravelius index 2.66, circularity ratio 0.14, elongation ratio 0.28, basin relief 1534, relief ratio 0.013, relative relief 0.29, ruggedness number respectively 1.92 and the hypsometric integral value was found to be 0.28. In general, it has been found that the infiltration capacity of the watershed is high, stream frequency and flood sensitivity are low. In consequence of morphometric analysis, it was determined that the area had arid climatic conditions and weak vegetation. As a result, it has been concluded that the erosion risk is relatively low in most of morphometry parameters. According to these results, it can be said that morphometric analysis are an important tool for interpreting the erosion situation in the watershed.

Keywords: Watershed morphometry, Erosion, Relief, Burdur Lake Watershed

1. Giriş

Su, doğada canlıların varlıklarını sürdürebilmelerinde vazgeçilmez bir doğal kaynaktır (Akın ve Akın, 2007; Dursun ve Babalık, 2021). Yeryüzündeki tatlı su miktarı sınırlıdır. Ayrıca su varlıkları, antropojenik etkilerle gerek yüzey gerekse de yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesi gibi olumsuz faaliyetlerden etkilenmektedir. Bu antropojenik baskılardaki artış ve küresel iklim değişiminin de etkisiyle tatlı su kaynakları ciddi bir tehdit altındadır (Raj ve Azeez, 2012; Dalı vd., 2023; Ganie vd., 2023). Artan dünya nüfusu, sanayileşme ve kentleşme ile yoğun bir şekilde kullanılan toprak ve su gibi doğal kaynaklar her geçen gün tükenmekte olup bu kaynakların planlanması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir (Vittala vd., 2008).

Bu bağlamda, on dokuzuncu yüzyıldan bu yana var olan köklü morfometrik yöntemler, havza özelliklerinin tespitinde önemli bir gereklilik olmuştur (Raj ve Azeez, 2012; Dalı vd., 2023; Ganie vd., 2023). Dünya yüzeyinin, şeklinin, yer şekilleri boyutunun ölçümü ve matematiksel analizi olarak tanımlanan morfometri, araştırmacılara havza dinamiklerini anlamada önemli bir yol göstermektedir. Drenaj havzası morfometrisi, havzadaki morfolojik değişikliklere sebep olan havza dinamiklerinin uzun vadeli yönlerini açıklamaya ve tahmin etmeye çalışmaktadır (Agarwal, 1998; Pakhmode vd., 2003; Thomas vd., 2011).

Morfometri terimi ilk kez 1957 yılında Chorley tarafından kullanılmış olup, öncesinde jeomorfometrinin akarsu havzaları üzerindeki temelleri hidroloji bilimcisi Horton tarafından 1932 yılında atılmıştır (Horton, 1945).

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

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

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.11.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 13.03.2023



Citation (Atf): Dursun, İ., Babalık, A.A., 2023. Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 25-38.
DOI: [10.18182/tjf.1205157](https://doi.org/10.18182/tjf.1205157)

Horton'un arařtırmalarını bir seviye űste çıkaran Strahler 1952'de hipsometrik eęriyi tanımlamıřtır. Ayrıca Horton'un ileri sűrdüęü akarsu dizinleme yöntemini de bir sistematige oturtmuřtur. Sonraki yıllarda Chorley (1972), Patton ve Baker (1976), Keller ve Pinter (1996) ve Pike (2009) gibi arařtırmacıların yaptıęı çalıřmalarla akarsu morfometrisi gűnümüzdeki haline gelmiřtir. Morfometrik űzelliklere dayalı havza analizi, havza űzellikleri hakkında eęim, topografya, toprak durumu, akıř űzellikleri, yűzey suyu potansiyeli vb. konularda fikir vermesi nedeniyle havza planlamasında űnemli bir yer tutmaktadır (Chandrashekar vd., 2015). Bu sebeple karar vericilerin, havza űzellikleri ve havzanın içinde meydana gelen hidrolojik sűrelere dair bilgi edinmeleri ve havza karakteristiklerini bilmeleri űnem arz eden bir konudur. Bir havza içindeki hidrolojik sűreler, morfometrik analiz yoluyla uygun řekilde incelenebilen havza űzelliklerinden etkilenir (Singh vd., 2021). Çizgisel, alansal ve relief morfometri űzellikleri doęal kaynakların deęerlendirilmesi ve korunmasının yanı sıra çevresel tehlikelerin deęerlendirilmesi gibi çeřitli çalıřmalarda kullanılabilir (Obeidat vd., 2021; Sutradhar ve Mondal, 2023).

Ŭlkemizdeki farklı havzalara ait havza morfometrisinin belirlenmesi ile ilgili yapılmıř alıřmalar (Utlu ve Ŭzdemir, 2018; Ŭdeker ve Tűrkoęlu, 2020; İmamoęlu, 2020; Yűksek vd., 2020; Cořkun ve Ŭztűrk, 2021; Gűrgűlű ve Gűl, 2021; Uzun, 2021; Esen, 2022) bulunmakla beraber bu çalıřmaların sayısı yeterli dűzeyde deęildir. Havzaların morfometrik analizi sonucunda elde edilen bilgiler, su kaynakları yűnetiminde, toprak erozyonunun korunmasında, heyelan duyarlılık haritalamasında, yeraltı suyu potansiyelinin deęerlendirilmesinde ve havzaların űnceliklendirilmesinde belirleyici bir araç olarak kullanılabilir (Singh vd., 2021).

Havzadaki fizyografik etmenler CBS (Coęrafi Bilgi Sistemleri) yardımıyla da hesaplanıp, harita çıktısına dűnűtűrűlebilmektedir. Bu baęlamda CBS'nin uzaktan algılama ile kombinasyonunun, su kaynaklarının geliřtirilmesi ve yűnetiminin yanı sıra havza deęerlendirmesi ve űnceliklendirme için yararlı bir araç olduęu sűylenilebilir (Pandey vd., 2011; Ganie vd., 2023).

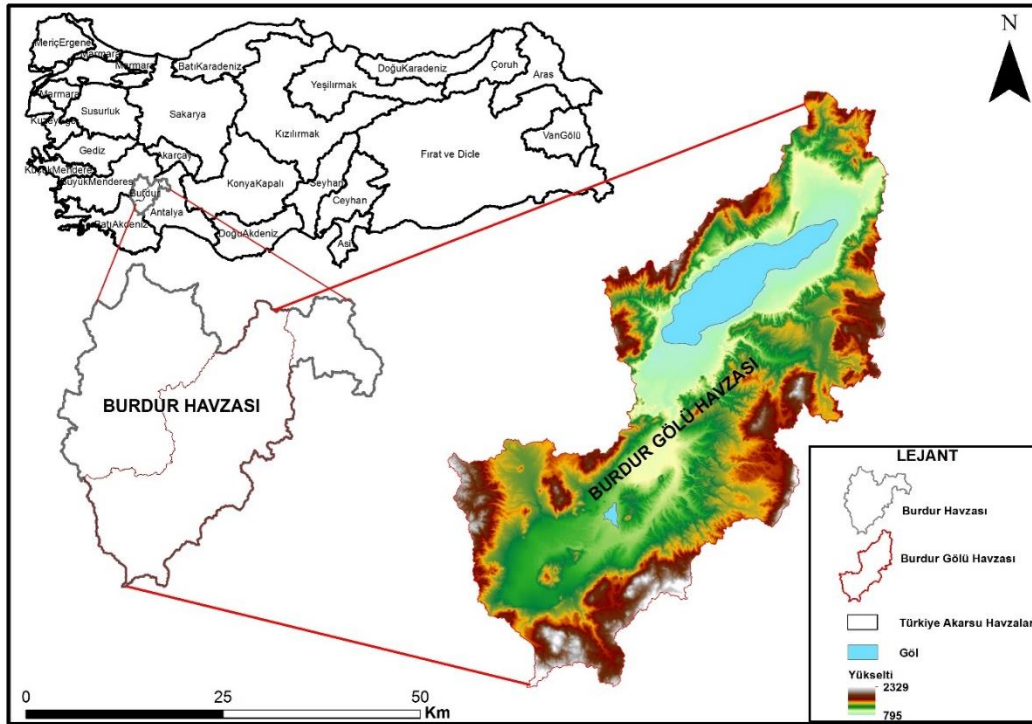
CBS, havza morfometrisi çalışmalarında analizlerin ve değerlendirmelerin yapılabilmesi bakımından kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Dolayısıyla hem morfometrik parametrelerin hesaplanması hem de yapılan analiz ve değerlendirmelerin havzadaki mekűnsal dağılımın gerçekleştirmesi açısından bu tűr çalışmalarda bűyűk kullanım kolaylığı sunmaktadır. Bu alışmada Burdur Gűlű Havzasının morfometrik parametreleri hesaplanarak bunların havzadaki erozyon durumu ile ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve yűntem

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma alanı

Burdur Gűlű Havzası, Tűrkiye'nin gűneybatı kesiminde, Batı Akdeniz Bűlűmű'nde, Burdur Havzası içinde bir alt havza olup $37^{\circ} 8' - 38^{\circ} 2'$ kuzey enlemleri ile $29^{\circ} 39' - 30^{\circ} 33'$ doęu boylamları arasındadır. Burdur Gűlű Havzası, Burdur Merkez, Kemer, Karamanlı ve Tefenni ilçeleri ile Isparta'nın Keçiborlu ve kısmen Gűnen ilçesi sınırları içerisindedir. Havzanın alanı yaklařık 320000.0 ha'dır (Ataol, 2010) (řekil 1).

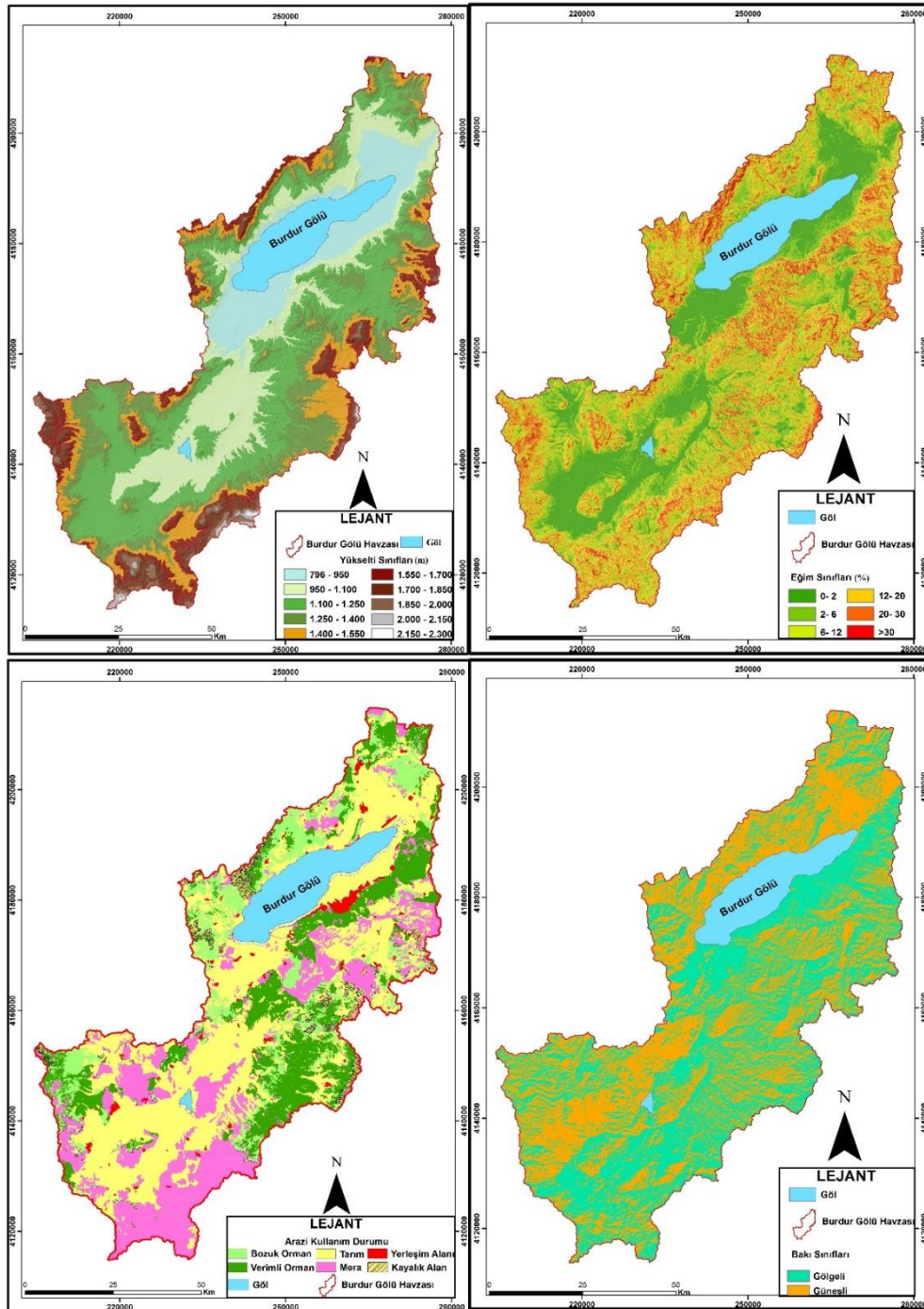


řekil 1. Burdur Gűlű Havzası konumu

Burdur Gölü Havzasının ortalama yüksekliği yaklaşık 1224 m olarak belirlenmiştir. Yükselti haritasına bakıldığında, havzanın en düşük noktası 795 m ve en yüksek noktası ise 2329 m'dir. Burdur Gölü Havzasının eğim durumunu ortaya koymak için ArcGIS ortamında eğim haritası oluşturulmuştur (Dubey vd., 2015). Burdur Gölü Havzasındaki eğim sınıfları haritasına göre ortalama eğim %10.1 olarak hesaplanmıştır. Eğim, yüzeysel akışın oluşumunda, dere akımına ait hidrografın şeklinin belirlenmesinde ve pik akımın oluşumunda önemlidir.

Havzadaki bakı grupları gölgeli ve güneşli bakı olmak üzere 2 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların alansal dağılımına bakıldığında gölgeli bakı 158896.32 ha ve güneşli bakı ise 159581.98 ha olarak yer almaktadır. Arazi kullanımının şekli

ve toprağı örten bitkilerin durumu, toprak kayıplarını etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Bitki örtüsü, yüzeysel akışı azaltarak toprağı erozyona karşı korumaktadır. Bitki ile kaplı arazide, yağmur damlalarının toprağı dövme enerjisi azalmaktadır. Ayrıca bitki örtüsü, toprak yüzeyindeki sedimentin akışını değiştirerek fiziksel bir bariyer görevi görmektedir (Raya vd., 2006; Durán vd., 2006). Erozyonun zararlarını en aza indirebilmek için farklı arazi kullanım durumlarına sahip alanların erozyon değerleri belirlenmelidir. Belirlenen erozyon değerleri ile arazi kullanımlarının sürekliliği ve sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. Burdur Gölü Havzasının yükselti, eğim, arazi kullanımı ve bakı sınıfları haritaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Burdur Gölü Havzasının yükselti, eğim, arazi kullanımı ve bakı sınıfları

2.2. Yöntem

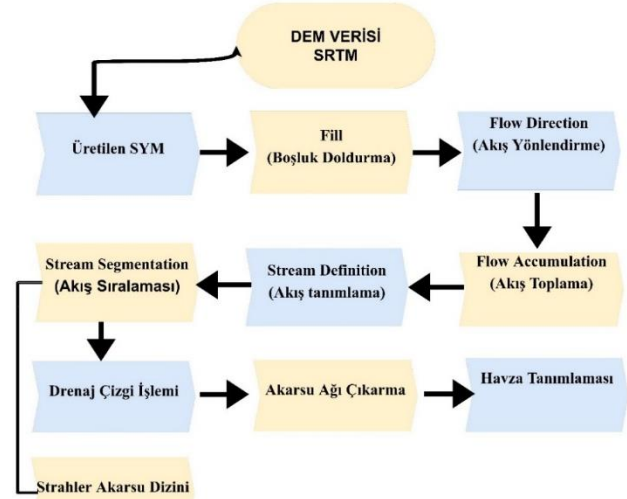
Araştırma alanını oluşturan havzanın sınırı ve morfolometrik analiz parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan veriler, ArcGIS 10.2 programıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) uzaktan algılama verisi ile SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) üretilmiştir. SRTM verileri ile üretilen SYM, topoğrafik haritaların sayısallaştırılmasında kullanılan modeller gibi kullanılmaktadır (ESRI, 2004; Çoban ve Eker 2009).

Burdur Gölü Havzası, SYM kullanılarak ArcHydro modülü aracılığıyla Strahler (1964) metoduna göre hiyerarşik sıralama yöntemine göre oluşturulmuştur (Özhan, 2004; Görgülü ve Göl, 2021). ArcGIS programında öznetelik tablolarından yararlanılarak dere sayıları ve akarsu uzunlukları belirlenmiştir (Şekil 3).

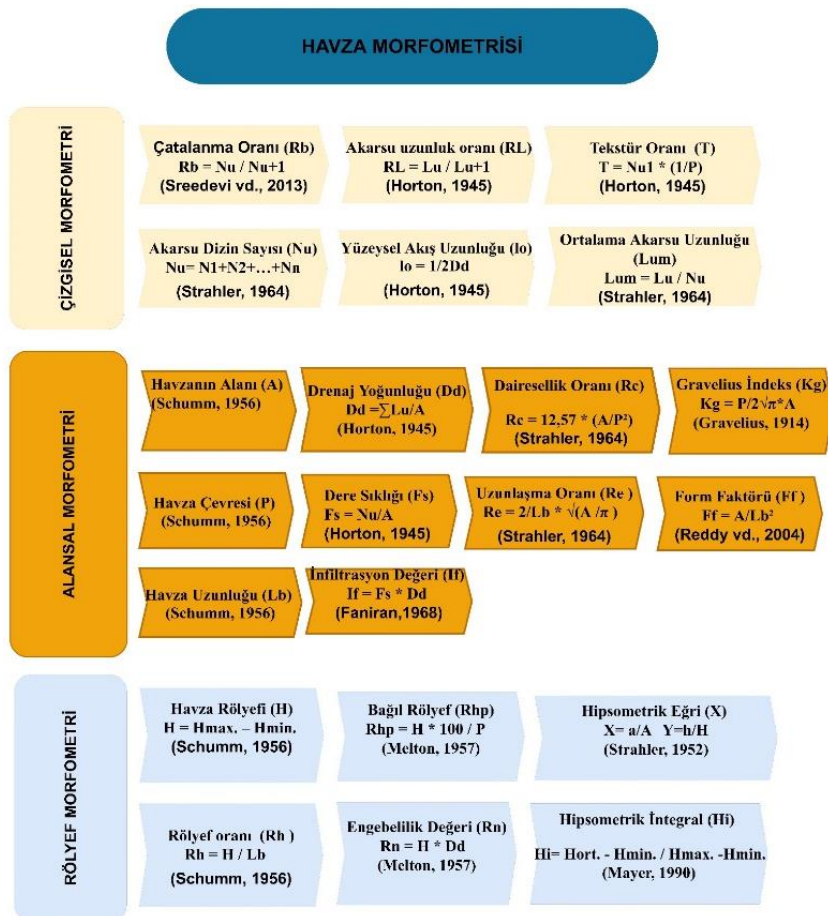
SYM'ler akarsu ağının üretiminde sıklıkla kullanılan verilerdir. Bu verilerin hidroloji analizleri yapılmadan önce uyumlu hale gelmesi için çeşitli aşamalardan geçmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda üretilen SYM'deki boş pikseller CBS yöntemleri ile doldurulmuş ve aşağıdaki işlem adımları izlenerek hem havza sınırı hem de drenaj ağı oluşturulmuştur (Şekil 3). Akarsu ağının oluşturulmasında Jenon ve Domingue (1988) tarafından geliştirilen D8 yöntemi kullanılmıştır.

Akarsu uzunluğu eşik değeri belirlenirken akış toplama (Flow accumulation) 5000'den büyük komutu girilerek derelere bakılmış sonrasında ise ArcMap'ın Mekansal Analiz (Spatial Analyst) aracı içinde ("Con" sekmesinde) 5000

piksel olarak belirlenmiştir. Ayrıca akarsular, aslına uygun bir şekilde araştırma sahasına ait topografik paftalara ve uydu görüntülerine bakılarak kontrol edildikten sonra sayısallaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Burdur Gölü Havzasında çizgisel, alansal ve rölyef morfolometrikleri analiz edilmiş ve formülleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Akarsu ağını ve havza sınırını belirleme akış çizelgesi



Şekil 4. Morfolometrik parametrelerin belirlenmesinde kullanılan formüller

3. Bulgular ve tartışma

3.1. Çizgisel morfometri özellikleri

Bu morfometri parametresi temel olarak, topografyadan etkilenen drenaj ağının özellikleri ile ilgilidir. Bu çalışmada incelenen çizgisel morfometri özellikleri; akarsu dizinleri, akarsu dizin sayısı (Nu), akarsu uzunluğu (Lu), ortalama akarsu uzunluğu (Lum), çatallanma oranı (Rb), akarsu uzunluk oranı (Rl), yüzeysel akış uzunluğu (Io) ve tekstür oranından (T) oluşmaktadır (Radwan vd., 2017). Bu parametrelerin her biri için elde edilen sonuçların ayrıntılı açıklaması aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Çatallanma oranı

Çatallanma oranı, verilen herhangi bir sıradaki akış sayısının bir sonraki yüksek sıradaki akış sayısına oranını ifade etmek için kullanılır (Horton, 1945). Havzanın şeklini, akış durumunu ve taşkın eğilimini gösteren yararlı bir ölçüdür. Yüksek çatallanma oranı, kısa konsantrasyon süresini ve taşkın olasılığının yüksek olacağını gösterir (Bogale, 2021). Uzun havzalarda düşük Rb değerine sahipken dairesel havzalar yüksek Rb değerine sahiptir. Yangchan vd. (2015)'ye göre, herhangi bir havza 3.0 ila 5.0 aralığında çatallanma oranına sahipse o havzanın jeolojik yapılar içindeki drenaj düzeni bozulmamaktadır. Çalışmada Burdur Gölü Havzasının Rb değeri 3.42 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu değer havzanın düşük sızma kapasitesine ve yüksek debiye sahip olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca havzanın jeolojisi homojen bir yapıya sahiptir.

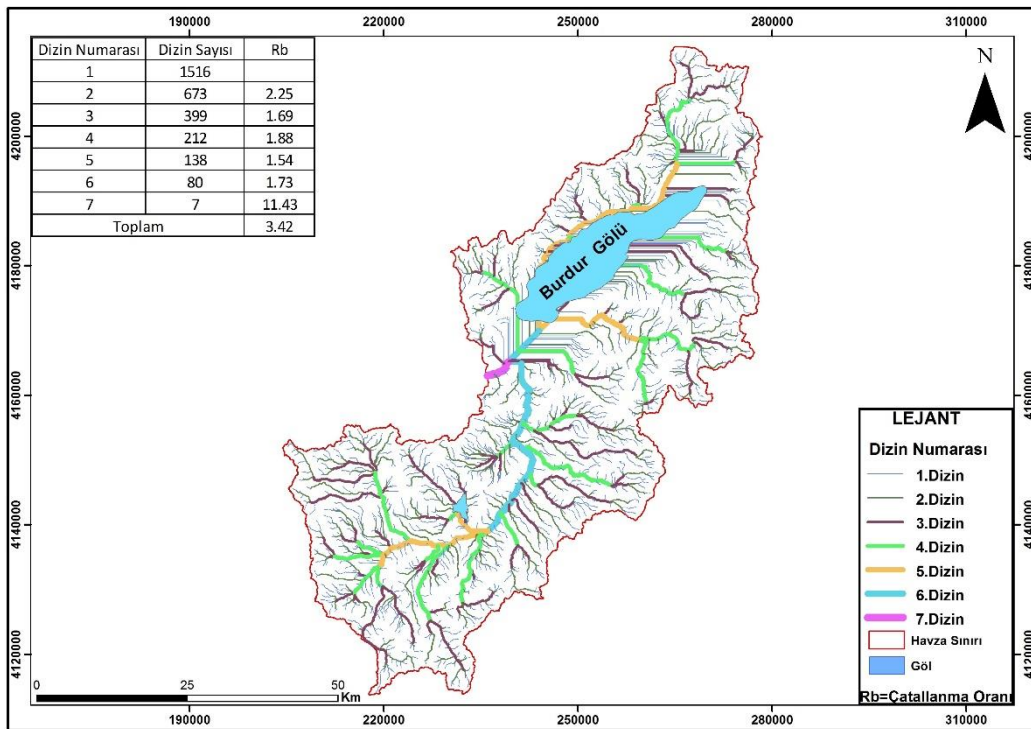
Birinci ve ikinci dereceli dere sayısı bulunan havzaların çatallanma oranı, daha yüksek derecedeki derelerin çatallanma oranından daha yüksek olmaktadır. Bu durum erozyon olgusuna neden olan süreçlerin işaretçisidir (Verstappen, 1983; İmamoğlu, 2020). Ayrıca, toprak erozyonu eğilimi, daha yüksek çatallanma oranı değeri ile doğrudan ilişkilidir (Gajbhiye vd., 2014).

3.1.2. Akarsu uzunluk oranı

Bu parametrenin belirlenmesinde akarsu dizinleri temel olarak alınmaktadır (Horton, 1945; Strahler, 1964). Dizin segment uzunluklarının, bir üst dizin segment uzunluğuna oranı ile hesaplanır ve havza için ortalama akarsu uzunluk oranı (Rl) bulunur (Turoğlu, 1997).

Strahler (1952)'e göre derecelendirilen akarsu dizinlerinin uzunlukları dikkate alınarak uygulanan formül sonucunda havzada Rl 3.46 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu oran, yüzeysel akış ve havzada meydana gelebilecek erozyon için önemlidir (Zaidi, 2011). Ardışık akarsular arasındaki Rl düzeni, eğim ve topografik koşullardaki farklılıklara bağlı olarak değişmektedir (Sreedevi vd., 2004).

Akarsu uzunluk oranının nispeten düşük olması, akarsuyun kolayca drene olabileceği uzunlamasına havzalarda görülen bir durumdur (Özdemir, 2011). Dizinler arası ortalama akarsu uzunlukları incelendiğinde, üst dizinlere doğru ortalama uzunluğun artması Burdur Gölü Havzasının uzunlamasına bir havza özelliği taşıdığını göstermektedir.



Şekil 5. Burdur Gölü Havzası çatallanma oranı

Yüksek RI değeri, akışa geçen yüzeysel sularının yüksek miktarda su taşıdığını ve yüksek taşkın potansiyelini ifade ederken, düşük RI değeri daha az miktarda taşınan suyu ve düşük taşkın potansiyelini ifade eder. Burdur Gölü Havzası akarsu uzunluk oranına göre yüksek sızma eğilimine sahiptir. Böylelikle taşkın ve erozyon riskinin az olduğu söylenebilir.

3.1.3. Yüzeysel akış uzunluğu

Drenaj yoğunluğunun yarısı yüzeysel akış uzunluğuna eşittir. Drenaj havzasının arazi gelişimini etkileyen en önemli değişkenlerinden biri de yüzeysel akış uzunluğudur. Yüzeysel akışın uzunluğu (l_0), çoğunlukla alanın hem hidrolojik hem de fizyografik yapılarından etkilenir (Horton, 1945; Gebre vd., 2015).

Yüzeysel akış uzunluğu hesaplamasında l_0 'nun üç sınıfı vardır. Bu değerler; düşük değer (< 0.20), orta değer ($0.20 - 0.30$) ve yüksek değer (> 0.30) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Yüksek bir (l_0) değeri, eğimin az ve akış yolunun uzun olduğunu daha fazla sızma ve daha az yüzeysel akışın oluştuğu anlamına gelir (Chandrashekar vd., 2015; Rai vd., 2017). Yüzeysel akış uzunluğunun toprak erozyonu üzerinde doğrudan bir etkisi vardır (Puno ve Puno, 2019). Burdur Gölü Havzasının yüzeysel akış uzunluğu 0.40 olarak bulunmuş olup, "yüksek değer" sınıfına girmektedir. Böylelikle daha az yüzeysel akış olması nedeniyle erozyon riskinin düşük olabileceği söylenebilir.

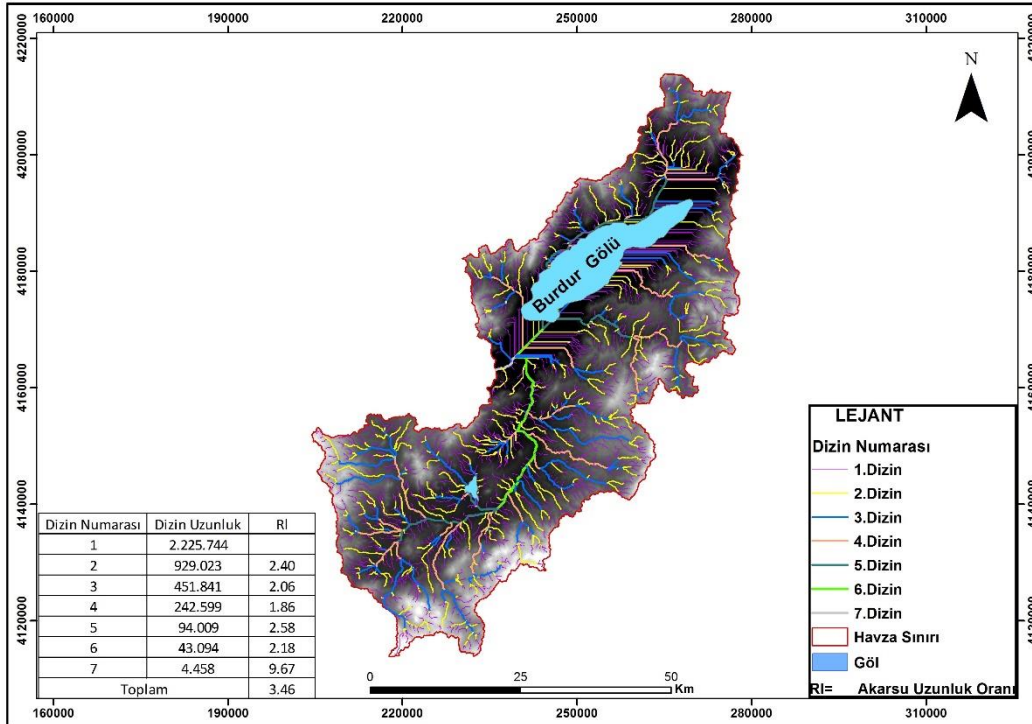
3.1.4. Tekstür oranı

Strahler yöntemine göre belirlenmiş 1. dizindeki akarsu kollarının toplam sayısının, havzanın çevresine oranı olarak tanımlanmaktadır (Horton, 1945). Smith (1950) tarafından tekstür oranı, çok kaba (< 2), kaba (2-4), orta (4-6), ince (6-8) ve çok iyi (> 8) olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. İklim, yağış, bitki örtüsü, kaya ve toprak tipi vb. doğal faktörlere bağlıdır. Burdur Gölü Havzasının tekstür oranı 2.84 değeri ile kaba olarak sınıflandırılmıştır.

Düşük drenaj yoğunluğu kaba bir tekstür oluşturmaktadır. Bu durumda, yüzeysel akışın az ve infiltrasyonun yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Strahler, 1964; Youssef ve Doumit, 2023). Burdur Gölü Havzasının tekstür oranına bakıldığında erozyon riskinin nispeten az olduğu düşünülmektedir.

3.2. Alansal morfolometri özellikleri

Alansal morfolometri parametreleri, havza üzerine düşen yağış sularının toplanması ve yüzeysel akışın birikmesi bakımından oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Görgülü ve Göl, 2021). Alansal morfolometride havzanın alanı, çevresi ve uzunluğu ((A), (P), (Lb)), drenaj yoğunluğu (Dd), akarsu sıklığı (Fs), infiltrasyon değeri (If), form faktörü (Ff) ve dairesellik oranı (Rc), havza uzunluk oranı (Re) ve gravelius indeksi (Kg) parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 6. Burdur Gölü Havzası akarsu uzunluk oranı

3.2.1. Havzanın alanı ve çevresi

Havza alanı, havza sınırında yer alan toplam alanı ifade etmektedir. Havzanın alanı (A), havzanın genişliği (B) ile havzanın uzunluğunun (L) çarpılması ile hesaplanmaktadır. Bir akarsuyun su potansiyelini ve akışını etkilemektedir (Özhan, 2004; Bharath vd., 2021).

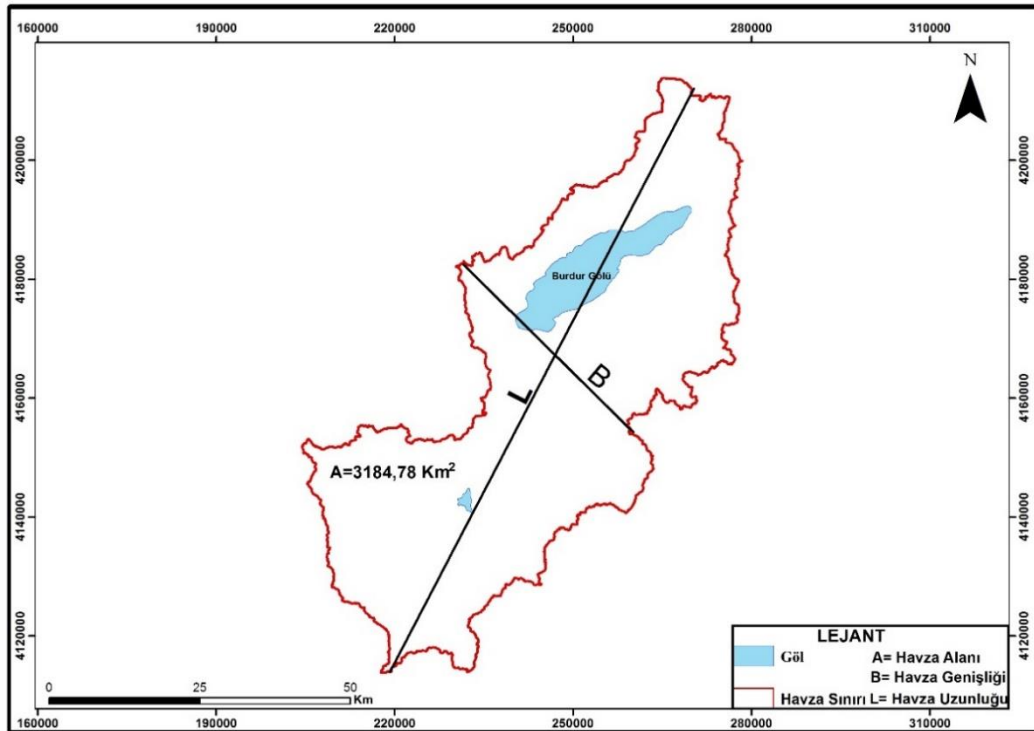
Havza alanı, aynı zamanda oldukça büyük ölçekli haritalardan planimetre ile belirlenen ve kilometrekare olarak ifade edilen, havza sınırının yatay bir düzleme yansıtılmasıyla elde edilen kapalı eğrinin alanı olarak tanımlanmaktadır. Havza alanı hesaplanırken ArcGIS kullanılarak su ayırım çizgileri oluşturulduktan sonra CBS ortamına aktararak sayısallaştırma işlemleri yapılmıştır (Şekil 7). Burdur Gölü Havzasının toplam alanı 318478.30 ha olarak hesaplanmıştır. Havza çevresi P ile ifade edilmekte olup, Burdur Gölü Havzasının çevresi 532.865 km olarak hesaplanmıştır. Havza alanı ve çevresi morfometri hesaplamalarında kullanılan en temel parametrelerdendir. Bu parametreler formüllerde yerine koyularak alansal, çizgisel ve rölyef morfometrileri belirlenmektedir.

3.2.2. Drenaj yoğunluğu

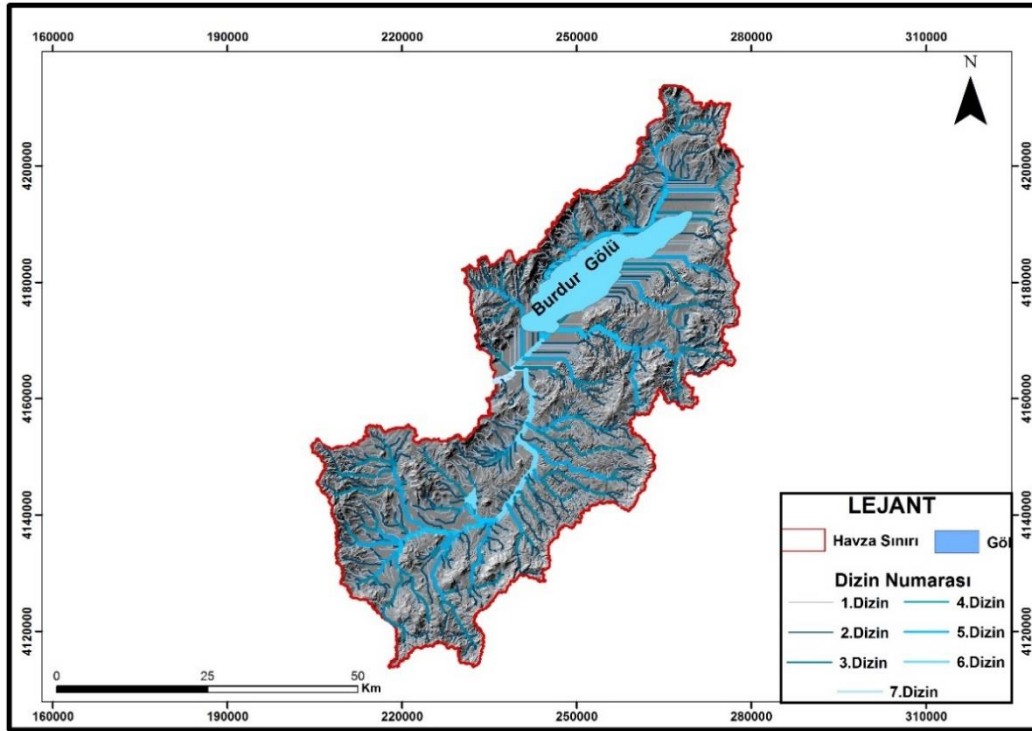
Derelerin toplam uzunluğunun, havza alanına oranlanmasıyla bulunmaktadır (Horton, 1945). Diğer bir ifadeyle drenaj yoğunluğu, havzada birim alandaki ortalama dere uzunluğuna karşılık gelen bir morfometri parametresidir. Akış gelişimini ve aralığını gösterir. Bir havzanın drenaj yoğunluğu toprak, iklim, rölyef, vadi yoğunluğu, kaynak alanı ve peyzaj gibi faktörlerden etkilenmektedir (Potter, 1957). İklim koşullarının, dere uzunluğuna yaptığı etkiyi göstermekte olan bu parametre 0.5-2.5 km/km² arasında değişmektedir (Özhan, 2004).

Havzanın drenaj yoğunluğu eğer küçük bir değer alırsa bu değer iyi bir bitki örtüsü ile yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce tutulduğunu göstermektedir. Böylelikle yüzeysel akış toprak tarafından süzülür. Drenaj yoğunluğu yüksek olan bir havza ise yüzeysel akış ve erozyon miktarı artmaktadır (Bhattacharya vd., 2019; Koralay ve Kara, 2021). Burdur Gölü Havzasının drenaj yoğunluğu "1.25" olarak bulunmuştur (Şekil 8). Bu bağlamda düşük drenaj yoğunluğunun olması, yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce bitki örtüsü ile tutulduğunu ve böylelikle erozyon riskini düşürdüğü söylenebilir.

Ayrıca drenaj yoğunluğu, havza morfometrisi ile erozyon süreci arasında bir bağlantı sağlamaktadır (Bates, 1981). Düşük drenaj yoğunluğu, yoğun bitki örtüsü ve düşük rölyef altında oldukça dirençli geçirgen toprak altı malzemesi alanına neden olmaktadır (Banerjee vd., 2017).



Şekil 7. Burdur Gölü Havzasının alanı



Şekil 8. Burdur Gölü Havzasının drenaj yoğunluğu

3.2.3. Dere sıklığı

Bir havzanın dere sıklığı (Ds), toplam dere sayısı (Ns) ile havza alanının (A) oranlanmasıyla bulunmaktadır (Horton, 1945). Birim alan başına akış sayısı, drenaj yoğunluğu ile birlikte bir alandaki litolojinin karakterini ortaya koymaktadır. Burdur Gölü Havzasının dere sıklığı oranı 0.95 olarak bulunmuştur (Şekil 9).

Dere sıklığında iklim, jeomorfolojik özellikler, bitki örtüsü, zaman ve insan etkileri gibi çeşitli faktörlerin etkisi bulunmaktadır (Elbaşı, 2015). Çok sayıda akarsu, zeminin geçirgen olmadığını, su havzası rölyefinin yüksek olduğunu ve bitki örtüsünün az olduğunu gösterebilir. Bu değişkenin düşük bir değer alması litolojik olarak geçirgen bir yapının olduğunu göstermektedir. Dere sıklığı 3.5'ten büyükse çok yüksek sınıfta olmaktadır (Özhan, 2004; Karabulut ve Özdemir, 2019; Koralay ve Kara, 2021). Dere sıklığı, toprak erozyonu ile doğru orantılıdır. Çünkü daha fazla yüzey alanının kaplanması, maksimum toprak kaybına neden olur (Patel vd., 2012) (Şekil 9). Düşük dere sıklığı oranı, yüksek geçirimsizlik, alçak rölyef özelliklerine karşılık gelmektedir (Soni, 2017).

Düşük dere sıklığı daha az yüzeysel akışa neden olduğundan erozyon riskini azaltmaktadır (Patel vd., 2012). Burdur Gölü Havzasında da dere sıklığına göre erozyon riskinin az olacağı tahmin edilmektedir.

3.2.4. Form faktörü

Havza alanı ile havza uzunluğunun karesinin oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Horton, 1945). Dere akışı ve su havzasının şekliyle doğrudan ilişkili olan bir havza karakteristiğidir (Vijith ve Satheesh, 2006). Burdur Gölü Havzasının form faktörü 0.25 olarak hesaplanmıştır.

Araştırma alanının genişliği, havza uzunluğundan daha küçük olmasıyla form faktörü 1'den küçük değer almıştır.

Böylelikle havzadaki şiddetli yağışların pike ulaşma süresi, aynı alana sahip geniş havzalara göre daha kısa olduğu sonucu bulunmaktadır. Çünkü suların toplanma zamanı daha kısa sürede meydana gelmektedir.

Form faktörü düşük, uzun bir şekle sahip bir su havzası, uzun zaman periyotları boyunca daha düz akış pikini belirtmektedir. Böylesi uzun bir şekle sahip havzanın taşkın akışının yönetimi, zamanla daha kolay olmaktadır (Banerjee vd., 2017). Form faktörü en düşük olan alanların düşük erozyon ve sediment taşıma kapasitesi özellikleri gösterdiği söylenebilir (Soni, 2017).

Form faktörünün 0'a yaklaşması havzanın uzun ve suyu geç topladığını böylelikle akış hızının yavaş olduğunu ve zayıf derelerin havzada var olduğunu göstermektedir. Havzanın form faktörünün 0.25 bulunduğu düşünüldüğünde bu sonuca bakarak havzada erozyon şiddetinin az olduğu ve taşkın ihtimaline sebep olacak bir tehlikenin var olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda form faktörü, taşkın oluşumu, erozyon derecesi ve bir havzadaki sediment yükünün taşıma kapasiteleri için önemli bir göstergedir (Soni, 2017).

3.2.5. Dairesellik oranı

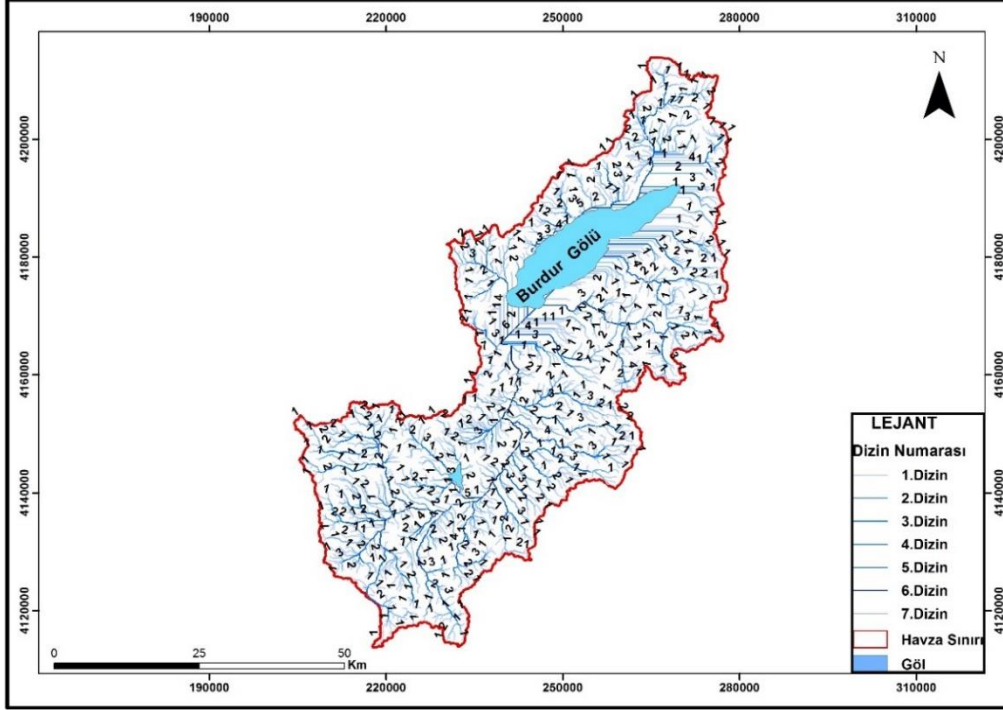
Havza şeklinin sayısal bir ifadesi olan dairelilik oranı, havza alanının havza ile aynı çevreye (P) sahip daireye bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Dairesellik oranı genel bir ifadeyle boyutsuz bir orandır. Dere sıklığı, dere uzunluğu, jeolojik yapı, bitki örtüsü, iklim, havza rölyefi ve eğim gibi faktörlerden etkilenmektedir (Joji vd., 2013). Fakat genellikle çeşitli derecelerdeki akarsuların uzunluk, frekans ve eğiminden daha çok etkilenmektedir. Bir havzanın düşük, orta ve yüksek dairelilik oranı değerlerine sahip olması, havzanın sırasıyla gençlik, olgunluk ve yaşlılık evrelerini göstermektedir (Miller, 1953; Rao, 2009). Dairesellik oranının küçük bulunduğu havzalarda yüzeysel akış daha

yavaş olmakta ve böylelikle erozyon ihtimalinin azaldığı bilinmektedir (Magesh, 2011).

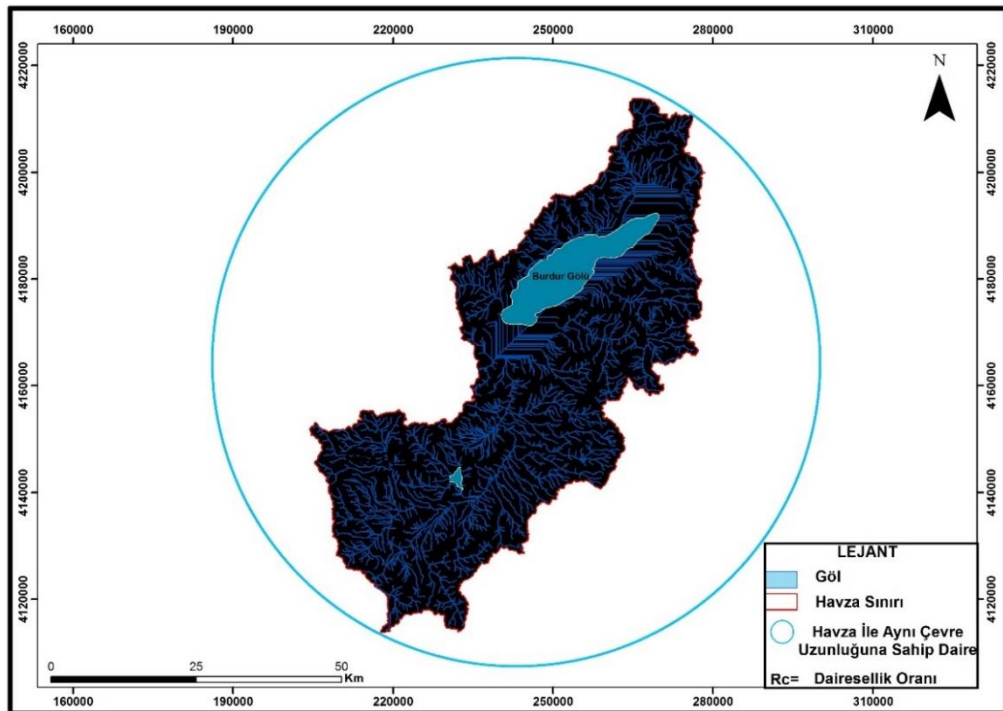
Dairesellik oranı, genellikle eğimden ziyade çeşitli sıralardaki akışların uzunluk, frekans ve gradyanından etkilenmektedir. Burdur Gölü Havzasının dairesellik oranı 0.14 olarak hesaplanmıştır (Şekil 10).

Ödeker ve Türkoğlu (2020)'nin Sabuncular Deresi Havzasında yaptığı bir morfometri araştırmasında havzanın

dairesellik oranı 0.37 olup, düşük bir değere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu değer düşük olması havzanın dar ve uzun şekilde olması ile ilişkilendirmiş olup, bu sonuçlar araştırmada bulunan dairesellik oranı ile benzerlik göstermektedir. Bu değer 1'e yaklaştığı oranda havzaların dairesel olacağı bilindiğinden, Burdur Gölü Havzasının bu değere nispeten uzak olmasıyla uzunlaşmasına havza özelliğinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Burdur Gölü Havzasının dere sıklığı



Şekil 10. Burdur Gölü Havzası dairesellik oranı

3.2.6. Havza uzunluk oranı

Maksimum uzunluğu havzanınkine eşit olan drenaj havzası ile benzer alana sahip çemberin çapı arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır (Schumm, 1956). Burdur Gölü Havzasının uzunlaşma oranı 0.28 olarak bulunmuştur. Bu değer havza şeklinin dar veya geniş olduğunun bir göstergesidir. Bölgenin çeşitli iklimsel ve jeolojik koşullarına bağlı olarak, genellikle 0.6-1.0 arasında değişmekte olup bu oranın 1.0'e yaklaşması alçak topoğrafik yapıyı, 0.6-0.8 arasındaki değerler genellikle dik ve sarp bir topoğrafyayı temsil etmektedir (Strahler, 1964). Bu oran düşük bir değer aldığı zaman erozyon ve sedimet yükü hassasiyetleri artmaktadır (Reddy vd., 2004). Havza uzunluk oranı ile erozyon arasında ters orantı vardır (Singh vd., 2021). Bu duruma göre Burdur Gölü Havzasında sedimet yükü hassasiyetinden bahsetmek mümkündür.

3.2.7. İnfiltrasyon değeri

Drenaj yoğunluğu ile drenaj frekansının çarpımı sonucunda elde edilen değer olarak tanımlanır. Bir havzanın infiltrasyon potansiyelini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu değer ne kadar yüksek bulunursa, yüzeysel akışın o kadar yüksek olduğu söylenebilir. İnfiltrasyon hızı hakkında fikir vermekte ve havzadaki basit geçirirli litolojiyi ve yüksek rölyefli alanları ortaya koymaktadır (Umrıkar, 2017). Arulbalaji ve Gurugnanam (2017) tarafından yapılan bir morfolometri araştırmasında infiltrasyon değerini 1.23 olarak bulunmuştur. Bu değerle yüzeysel akışın nispeten orta olduğu belirtilmiştir. Burdur Gölü Havzası için de bu durum geçerlidir.

İnfiltrasyon değeri, havzanın infiltrasyon karakterinin gözlemlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Havzanın yüzeysel akışı ile doğrudan ilişkilidir. İnfiltrasyon değerinin artmasıyla yüzeysel akış artmaktadır. İnfiltrasyon değerinin azalması ile de erozyon riski azalmaktadır (Rather vd., 2017). Burdur Gölü Havzasında infiltrasyon değeri 1.19'dur. Bu sonuç havzada iyi infiltrasyon ve daha az yüzeysel akış olduğunu göstermektedir.

3.2.8. Gravelius indeksi

Havzalarının şekillerini açıklamada yardımcı olan bir havza morfolometri indeksidir. Kg değerinin küçük olduğu havzaların dairesel görünümde olduğu sonucu çıkmaktadır. Havza şekilleri akım hidrograflarını etkilemektedir. Uzun havzaların hidrografi düşük ve devamlı iken, dairesel havzalar ise pik hidrograf özelliği göstermektedir (Özdemir, 2011). Burdur Gölü Havzasının gravelius indeksi değeri 2.66 olarak hesaplanmıştır. Bu parametre havza alanı ve uzunluğu ile dolaylı olarak ilişkili olmakla beraber toprak aşınabilirliğini etkilemektedir. Gravelius indeksinin düşük değer alması o havzanın uzunlaşmasına bir havza ve erozyon riskinin az olduğunu göstermektedir. Gravelius indeksinin yüksek değer alması ise yüksek erozyon riski olacağını göstermektedir (Patel vd., 2015). Bu durum Burdur Gölü Havzasında erozyon riskinin düşük olduğunu göstermektedir.

3.3. Rölyef Morfolometri Özellikleri

Burdur Gölü Havzasının reliyef morfolometrisini belirleme amacıyla SYM üzerinde aşağıdaki rölyef morfolometrisi

analizleri yapılmıştır. Bunlar; havza rölyefi (H), rölyef oranı (Rh), bağıl rölyef (Rhp) ve engebelilik değeri (Rn), hipsometrik eğri (Hc) ve integral (Hi) parametreleri hesaplanmıştır. Bu rölyef morfolometri parametreleri havzanın eğim ve yükseklik değerlerinin bulunduğu, farklı özelliklerin belirlenmesine yönelik olarak uygulanmaktadır (Avcı ve Sunkar, 2015).

3.3.1. Havza rölyefi

Mekansal değişimi göstermek için havza rölyefi hesaplanmaktadır (Rao vd., 2011). Havza rölyefi, bir havzanın en düşük ve en yüksek noktası arasındaki maksimum dikey mesafedir. Bu değer akarsu eğiminden etkilenmekte olup taşkın düzenini ve taşınabilecek sedimentin miktarını etkilemektedir (Hadley ve Schumm, 1961).

Dali vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada havza rölyefi 1514 m olarak bulunmuştur. Bu değer dik eğim ve yüksek rölyef anlamına gelmektedir. Bir havzada rölyef ne kadar yüksekse, havza alanındaki erozyon o kadar güçlüdür (Patton, 1988). Burdur Gölü Havzasının havza rölyefi 1534 olarak bulunmuş ve bu değere göre erozyon riskinin yüksek olabileceği söylenebilir.

3.3.2. Rölyef oranı

Havzanın ana drenaj hattına paralel en uzun boyutu boyunca havza rölyefi veya toplam rölyefin yatay mesafeye oranıdır (Schumm, 1956). Rölyef oranı bir drenaj havzasının akış hızı, eğim dikliği ve erozyon durumu hakkında fikir vermektedir (Alam vd., 2021). Rölyef oranının yüksek olması ani taşkın olasılığını artıran bir faktördür (Patton, 1988). Burdur Gölü Havzasının rölyef oranı 0.013 olarak hesaplanmıştır.

Rölyef oranı bir havzada 0'a yaklaşan bir değerde ise havza arazisi düze yakın olmaktadır. Bu oranın artması erozyonun ve suyun aşındırma gücünün artacağını gösterir.

Havzanın yüksek bir rölyef oranına sahip olması yüksek toprak erozyonu riski altında olduğu anlamına gelmektedir (Magesh vd., 2011). Burdur Gölü Havzası rölyef oranı için bu durum tam tersidir. Rölyef oranı ayrıca toprak erozyonu üzerindeki önemli bir parametre olarak kabul edilir ve drenaj tekstürünü doğrudan etkilemektedir (Biswas vd., 2015).

3.3.3. Bağıl rölyef

Havzadaki yükseklik farkını temsil eden önemli bir parametredir. Havza rölyefinin (H), çevresine (P) oranlanmasıyla hesaplanır ve genel dikliği gösterir. Bağıl rölyef, havzanın en önemli rölyef karakteristiklerinden birisidir. Bu durumun nedeni bu parametrenin bir drenaj havzasında işleyen bir süreçteki erozyon potansiyelini göstermesiyle alakalıdır (Gayen ve Haque, 2022). Burdur Gölü Havzasının bağıl rölyefi 0.29 olarak bulunmuştur.

3.3.4. Engebelilik değeri

Maksimum havza rölyefinin ve drenaj yoğunluğunun ürünüdür (Strahler, 1964). Eğim dikliğini ve uzunluğunu birleştirir. Engebelilik değeri, havza topografyasının düzgün ve pürüzlü olmasının yanı sıra yüzeyin engebeli olduğu ölçü olarak karakterize edilmektedir. Yüksek engebelilik değerine

sahip engebeli arazi, ani sellere ve erozyona neden olabilecek dik yokuşları göstermektedir (Sutradhar ve Mondal, 2023).

Bir havzadaki en yüksek Rn değeri, en yüksek toprak erozyon derecesini göstermektedir (Vijith ve Sateesh, 2006). Engebelilik değerinin yüksek değer alması eğimin sadece dik olduğunda değil aynı zamanda uzun olduğunda ortaya çıkmaktadır. Yüksek engebelilik değeri erozyon eğilimini arttırmaktadır (Farhan vd., 2015). Burdur Gölü Havzasının engebelilik değeri 1.92 olarak hesaplanmış olup, havza erozyona ve sediment taşınmasına karşı hassastır.

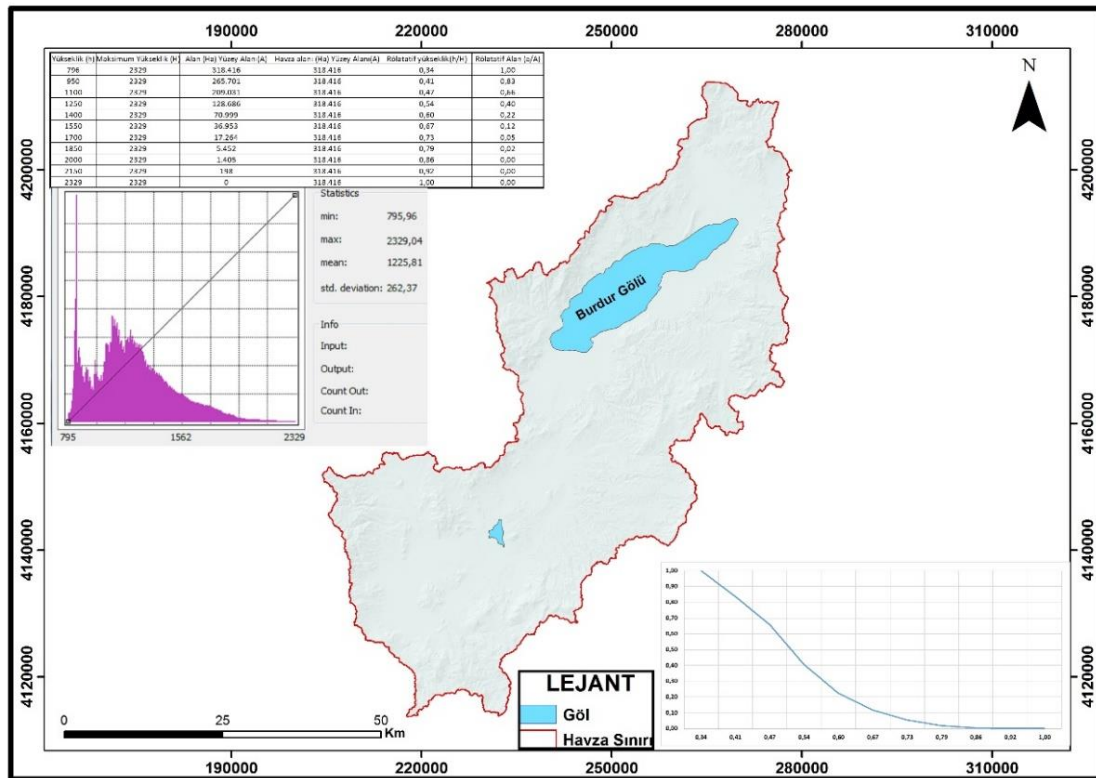
3.3.5. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

Hipsometrik eğri, yüksekliğin normalleştirilmiş kümülatif oluşum dağılımı olarak tanımlanmaktadır (Strahler, 1964). Genellikle hipsometrik eğri, erozyona uğramış yeryüzü biçimini anlamak için kullanılmaktadır (Schumm, 1973; Strahler, 1956).

Hipsometrik çalışma, yatay kesit alanı ve yüksekliği arasında, su havzalarıyla ilgili karşılaştırılmasını sağlayan boyutsuz bir biçimde ilişki geliştirmeyi amaçlamaktadır (Dowling vd., 1998). Hipsometrik analiz, bir drenaj havzasındaki akarsu süreçleriyle jeomorfik gelişim aşamasını ve erozyon derecesini etkili bir şekilde çıkarabilir (Parvez ve Inayathulla, 2019).

Strahler (1952), hipsometrik integralin (Hi) toplam rölyef, eğim dikliği, drenaj yoğunluğu ve kanal eğimleri ile ters orantılı olduğunu bulmuştur. Hi yüzde olarak ifade edilir (Ritter vd., 2002). Hipsometrik integral bu nedenle, hidrolojik süreçler ve arazi bozulma faktörleri nedeniyle jeolojik zaman ölçeğinde havzada meydana gelen erozyonu açıklamaya yardımcı olmaktadır (Bishop vd., 2002) (Şekil 11).

Hipsometrik eğri (Hc) ve hipsometrik integral değerleri dikkate alındığında hipsometrik eğriler, drenaj ağında meydana gelen aşındırma süreçlerinin devam edip etmediğinin yanında havzanın iklimatik, yapısal, litolojik özellikleri hakkında da bilgi verir. $Hi \geq 0.60$, havzanın gençlik döneminde olduğunu (dışbükey yukarı doğru eğri) ve erozyona oldukça yatkın olduğunu gösterir. Hi değeri ≥ 0.30 ile ≤ 0.60 arasında olduğunda havza olgun (S-şekilli), Hi değeri ≤ 0.30 havza yaşlıdır (içbükey yukarı doğru eğri) (Arefin vd., 2023). Hipsometrik integral değerinin 0.28 olması yaşlılık evresinde olduğunu göstermektedir. Yaşlılık evresindeki bir havza erozyona karşı daha az hassastır (Sharma ve Mahajan, 2020). Burdur Gölü Havzasının hipsometrik integraline göre erozyon riskinin az olduğu söylenebilir.



Şekil 11. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

4. Sonuç

Son yıllarda yeni teknolojilerin gelişimi ve CBS kullanımındaki artış, havza morfometrisini belirlemede kullanıcılara oldukça kolaylık sağlamış ve hesapların doğru ve kısa sürede yapılmasını sağlamıştır. Çalışmada CBS yardımıyla Burdur Gölü Havzasının morfometrik karakterleri ortaya konulmuştur.

ArcGIS 10.2 yazılımı yardımıyla hesaplanan 22 adet morfometrik parametre bulunmaktadır. Bu 22 parametre, çalışma alanının yüzeysel akışı, sızma kapasitesi, topoğrafyası, litolojisi ve hidrolojik özellikleri gibi arazi özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Strahler sınıflamasına göre çalışma alanı yedinci dereceden havzaya sahiptir ve dendritik drenaj şekli göstermektedir.

Buna göre yapılan morfometrik analizlerde çizgisel, alansal ve rölyef parametreleri ele alınarak havzanın durumu yorumlanmıştır.

Çizgisel morfometri özelliklerine bakıldığında; çatalanma oranını 3.42 olarak hesaplanmıştır. Bu değer havzanın düşük sızma kapasitesine ve yüksek debiye sahip olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Havzada çatalanma oranının artmasıyla erozyon eğiliminde arttığı düşünüldüğünden çatalanma oranına göre havzanın erozyon riskinin olduğu söylenebilir. Akarsu uzunluk oranı R1 3.46 olarak bulunmuştur. Bu oranın nispeten düşük olması havzanın kolay drene olabilen uzunlamasına bir havza olduğu sonucunu çıkarmaktadır. Havza akarsu uzunluk oranına göre yüksek sızma eğilimine sahiptir. Böylelikle taşkın ve erozyon riskinin az olduğu söylenebilir. Yüzeysel akış uzunluğu 0.40 olarak bulunmuş olup “yüksek değer” sınıfına girmektedir. Böylelikle daha az yüzeysel akış olması nedeniyle erozyon riskinin düşük olabileceği düşünülmektedir. Tekstür oranı 2.84 olarak belirlenmiştir. Bu durumda yavaş akış tepkisi, düşük yüzeysel akış ve yüksek infiltrasyon anlamına gelmektedir. Burdur Gölü Havzasının tekstür oranına bakıldığında nispeten erozyona daha az duyarlı olduğu düşünülmektedir.

Alansal morfometri özelliklerine bakıldığında; havza alanı, su potansiyeli ve yüzeysel akış etkileyen ve birçok morfometri parametresinin hesabında kullanılan önemli biri parametredir. Havza yaklaşık 320000.0 ha'lık alanla orta büyüklükte havza grubuna girmektedir. Drenaj yoğunluğu 1.25 km/km² olarak bulunmuştur. Bu bağlamda düşük drenaj yoğunluğunun olması, yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce bitki örtüsü ile tutulduğunu ve böylelikle erozyon riskini azalttığı söylenebilir. Dere sıklığı oranı 0.95 olarak bulunmuştur. Düşük dere sıklığı daha az yüzeysel akışa neden olduğundan havzada erozyon riski azdır. Havzanın form faktörü 0.25 olarak bulunmuştur. Form faktörüne göre havzada erozyon şiddetinin az olduğu ayrıca taşkın ihtimaline sebep olacak bir tehlikenin var olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Dairesellik oranı, genellikle eğimden ziyade çeşitli sıralardaki akışların uzunluk, frekans ve gradyanından etkilenmektedir. Dairesellik oranı 0.14 olarak hesaplanmıştır. Dairesellik oranının küçük bulunduğu havzalarda yüzeysel akış daha yavaş olmakta ve böylelikle erozyon ihtimalinin azaldığı bilinmektedir. Uzama oranı düşük olursa erozyon ve sedimet yükü hassasiyetleri artmaktadır. Uzunlaşma oranı ile erozyon arasında ters orantı vardır. İnfiltrasyon değeri 1.19'dur. Düşük İnfiltrasyon değeri yüzeysel akışın çok düşük olacağını ve infiltrasyon kapasitesinin çok yüksek olacağını göstermektedir. Gravelius indeks değeri 2.66 olarak hesaplanmıştır. Bu parametrenin düşük değerleri havzanın

daha fazla uzadığını ve daha az erozyon olduğunu göstermektedir.

Rölyef morfometri özelliklerine bakıldığında; havza rölyefi 1534 olarak bulunmuş ve bu değere göre erozyon riskinin yüksek olabileceği söylenebilir. Rölyef oranı 0.013 olarak hesaplanmıştır. Rölyef oranı toprak erozyonu üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle önemli bir parametre olarak kabul edilir. Rölyef oranı göz önünde bulundurulduğunda erozyon riski az olduğu söylenebilir. Bağlı rölyef 0.29 olarak bulunmuştur. Engebililik değeri 1.92 olarak hesaplanmış olup, havza erozyona ve sediment taşınmasına karşı hassastır. Hipsometrik integral değeri 0.28 olarak bulunmuştur. Havzanın yaşlılık evresinde olduğunu göstermektedir. Yaşlılık evresindeki bir havza erozyona karşı daha az hassastır.

Sonuç olarak havzada erozyon riski olduğu sonucunu veren parametreler olsada parametrelerin büyük bir çoğunluğuna göre yapılan morfometri analizinde erozyon riskinin nispeten az olduğu söylenebilir. Havza morfometri araştırmaları toprak erozyonunun önlenmesi, suyun korunması ve uzun vadeli büyümenin sağlanmasına kadar birçok konuda büyük önem arz etmektedir. Ayrıca CBS ve uzaktan algılama gibi teknikler ile gerek hidrolojik analizlerin yapılması gerekse de ileriye yönelik planların yapılabilme olanakları vardır. Bu sonuçlar incelendiğinde morfometrik analizlerin, havzada erozyon durumunu yorumlamada önemli bir araç olduğu söylenebilir.

Açıklama

Bu makale Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde tamamlanan “Burdur Gölü Havzasında Meydana Gelen Toprak Erozyonunun Coğrafi Bilgi Sistemleri ve WEPP Erozyon Tahmin Modeli Kullanılarak Belirlenmesi” başlıklı Doktora Tezinden üretilmiştir. Emeği geçen kurum ve kişilere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Agarwal, C.S., 1998. Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, UP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 26: 169-175.
- Akın, M., Akın, G., 2007. Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47(2): 105-118.
- Alam, A., Ahmed, B., Sammonds, P., 2021. Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. Quaternary International, 575: 295-307.
- Arefin, R., Seker, D.Z., Hore, R., Meshram, S.G., 2023. GIS and remotely sensed data-based morphometric elements analysis for determination of Bengal Basin evolution. Environment, Development and Sustainability, 25: 1-34.
- Arulbalaji, P., Gurugnanam, B., 2017. Geospatial tool-based morphometric analysis using SRTM data in Sarabanga watershed, Cauvery River, Salem district, Tamil Nadu, India. Applied Water Science, 7(7): 3875-3883.
- Ataol, M., 2010. Burdur Gölü Havzası için yeni bir su yönetim modeli önerisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Avcı, V., Sunkar, M., 2015. Giresun’da sel ve taşkın oluşumuna neden olan aksu çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri. Coğrafya Dergisi, 30: 91-119.
- Banerjee, A., Singh, P., Pratap, K., 2017. Morphometric evaluation of Swarnrekha watershed, Madhya Pradesh, India: An integrated GIS-based approach. Applied Water Science, 7(4): 1807-1815.
- Bates, N., 1981. Valley shapes. In: Practical Foundations of Physical Geography (Ed: Knap, B.), George Allen and Unwin, London, pp. 25-29.

- Bharath, A., Kumar, K.K., Maddamsetty, R., Manjunatha, M., Tangadagi, R.B., Preethi, S., 2021. Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi Basin using geospatial technology. *Environmental Challenges*, 5: 100277.
- Bhattacharya, R.K., Das Chatterjee, N., Das, K., 2019. Multi-criteria-based sub-basin prioritization and its risk assessment of erosion susceptibility in Kansai-Kumari catchment area, India. *Applied Water Science*, 9(4): 1-30.
- Bishop, M.P., Shroder, J.F., Bonki, R., Olsenholler, J., 2002. Geomorphic change in high mountains: A western Himalayan perspective. *Glob Planet Change*, 32(4): 311-329.
- Biswas, H., Raizada, A., Mandal, D., Kumar, S., Srinivas, S., Mishra, P.K., 2015. Identification of areas vulnerable to soil erosion risk in India using GIS methods. *Solid Earth*, 6(4): 1247-1257.
- Bogale, A., 2021. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Applied Water Science*, 11(7): 1-7.
- Chandrashekar, H., Lokesh, K.V., Sameena, M., Roopa, J., Ranganna, G., 2015. GIS-based morphometric analysis of two reservoir catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. *Aquatic Procedia*, 4: 1345-1353.
- Chorley, R.J., Dale, P.F., 1972. Cartographic problems in stream channel delineation. *Cartography*, 7(4): 150-162.
- Coşkun, M., Öztürk, A., 2021. Havza önceliklendirmesi bakımından Ermenek Çayı Havzası ve Gökçay Havzasının karşılaştırmalı morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1): 1-10.
- Çoban, H.O., Eker, M., 2009. SRTM verileri ile bazı topoğrafik analizler: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 76-91.
- Dali, N., Ziouch, O.R., Dali, H., Daifallah, T., Cherifa, B., Sara, H., 2023. Remote sensing, and (GIS) approach, for morphometric assessment and sub-watershed prioritization according to soil erosion and groundwater potential in an endorheic semi-arid area of Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1): 95.
- Dowling, T., Walker, J., Richardson, D.P., O'Sullivan, A., Summerell, G.K., 1998. Application of the Hypsometric Integral and Other Terrain Based Metrics as Indicators of Catchment Health: A Preliminary Analysis. CSIRO Land and Water, Technical Report 20/98, Australia.
- Dubey, S.K., Sharma, D., Mundetia, N., 2015. Morphometric analysis of the Banas River Basin using geographical information system, Rajasthan, India. *Hydrology*, 3(5): 47-57.
- Durán, Z.V.H., Francia, M.J.R., Rodríguez, P.C.R., Martínez, R.A., Cárceles, R.B., 2006. Soil erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (SE Spain): Implications for sustainable agriculture. *The Environmentalist*, 26: 309-319.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2021. De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3): 192-201.
- Elbaşı, E., 2015. Marmara Denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Esen, F., 2022. Ayancık Çayı Havzası'nda (Sinop) meydana gelen taşkın olaylarının havza morfometrisi açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Geography and Geography Education*, (47): 233-257.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2004. Getting Started with ArcGIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.265.
- Faniran, A., 1968. The index of drainage intensity - A provisional new drainage factor. *Australian Journal of Science*, 31(9): 328-330.
- Farhan, Y., Anbar, A., Enaba, O., Al-Shaikh, N., 2015. Quantitative analysis of geomorphometric parameters of Wadi Kerak, Jordan, using remote sensing and GIS. *Journal of Water Resource and Protection*, 7(06): 456-475.
- Gajbhiye, S., Mishra, S.K., Pandey, A., 2014. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: An RS and GIS perspective. *Applied Water Science*, 4: 51-61.
- Ganie, P.A., Posti, R., Kunal, K., Kunal, G., Bharti, V.S., Sehgal, V.K., Pandey, P.K., 2023. Modelling of the Himalayan Mountain river basin through hydro-morphological and compound factor-based approaches using geoinformatics tools. *Modeling Earth Systems and Environment*, 23(1): 1-32.
- Gayen, A., Haque, S.M., 2022. Soil erodibility assessment of laterite dominant sub-basin watersheds in the humid tropical region of India. *Catena*, 213: 106161.
- Gebre, T., Kibru, T., Tesfaye, S., Taye, G., 2015. Analysis of watershed attributes for water resources management using GIS: The case of Chelekot micro-watershed, Tigray, Ethiopia. *Journal of Geographic Information System*, 7(02): 177.
- Görgülü, E., Göl, C., 2021. Coğrafi bilgi sistemleri ile havza morfometrik analizi: Sarayköy Göleti Havzası (Çankırı) örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2): 107-118.
- Gravelius, H., 1914. Grundriß der gesamten Gewässerkunde Band 1: Flufikunde. Goschen, Berlin, Germany.
- Hadley, R.F., Schumm, S.A., 1961. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River Basin. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 153 (1B): 198.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56: 275-370.
- İmamoğlu, A., 2020. Alaca Çayı Havzası erozyon durumunun morfometrik ölçümler ile ilişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18): 868-878.
- Jenson, S.K., Domingue, J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11): 1593-1600.
- Joji, V.S., Nair, A.S.K., Baiju, K.V., 2013. Drainage basin delineation and quantitative analysis of Panamaram Watershed of Kabani River Basin, Kerala using remote sensing and GIS. *Journal of the Geological Society of India*, 82(4): 368-378.
- Karabulut, M.S., Özdemir, H., 2019. Comparison of basin morphometry analyses derived from different DEMs on two drainage basins in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 78(18): 1-14.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice-Hall, London.
- Koralay, N., Kara, Ö., 2021. Effects of morphometric characteristics on flood in Degirmendere Sub-Watersheds, Northeastern Turkey. *International Journal of River Basin Management*, 1-11.
- Magesh, N.S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P., 2011. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: A GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 64: 373-381.
- Mayer, L., 1990. Introduction to quantitative geomorphology. NJ: Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Miller, V.C., 1953. Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, Technical Report, NR 389042, New York.
- Obeidat, M., Awawdeh, M., Al-Hantouli, F., 2021. Morphometric analysis and prioritisation of watersheds for flood risk management in Wadi Easal Basin (WEB), Jordan, using geospatial technologies. *Journal of Flood Risk Management*, 14(2): e12711.
- Ödeker, B., Türkoğlu, N., 2020. Sabuncular Deresi Havzası'nın (Rize/Çayeli) morfometrik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1): 14-38.
- Özdemir, H., 2011. Havza morfometrisi ve taşkınlar, fiziki coğrafya araştırmaları. *Sistematik ve Bölgesel* (Ed., Ekinci, D.), Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, İstanbul, s. 507-526.
- Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Pakhmode, V., Kulkarni, H., Deolankar, S.B., 2003. Hydrological-drainage analysis in watershed-programme planning: A case from the Deccan basalt, India. *Hydrogeology Journal*, 11: 595-604.
- Pandey, A., Behra, S., Pandey, R.P., Singh, R.P., 2011. Application of GIS for watershed prioritization and management: A case study. *International Journal of Environmental Science Development & Monitoring*, 2: 25-42.
- Parvez, M.B., Inayathulla, M., 2019. Morphometry, hypsometry analysis and runoff estimation of Aam Talab watershed Raichur, Karnataka. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas In Education*, 5(3): 1713-1727.

- Patel, D.P., Dholakia, M.B., Naresh, N., Srivastava, P.K., 2012. Water harvesting structure positioning by using geo-visualization concept and prioritization of mini-watersheds through morphometric analysis in the lower Tapi basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40: 299-312.
- Patel, D.P., Srivastava, P.K., Gupta, M., Nandhakumar, N., 2015. Decision support system integrated with Geographic Information System to target restoration actions in watersheds of arid environment: A case study of Hathmati watershed, Sabarkantha district, Gujarat. *Journal of Earth System Science*, 124: 71-86.
- Patton, P.C., Baker, V.R., 1976. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research*, 12(5): 941-952.
- Patton, P.C., 1988. Drainage basin morphometry and floods. In: *Flood Geomorphology* (Ed: Baker, V., Kochel, R. and Patton, P.), Wiley, New York, pp. 51-65.
- Pike, R., Evans, I., Hengl, T., 2009. *Geomorphometry: A brief guide*. In: *Geomorphometry: Concepts, software, applications* (Ed: Hengl, T. and Reuter, H.I.), Elsevier, New York, pp. 3-30.
- Potter, P.E., 1957. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Journal of Geology*, 65(1): 112-113.
- Puno, G.R., Puno, R.C.C., 2019. Watershed conservation prioritization using geomorphometric and land use-land cover parameters. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3): 279-294.
- Radwan, F., Alazba, A.A., Mossad, A., 2017. Watershed morphometric analysis of Wadi Baish Dam catchment area using integrated GIS-based approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(12): 1-11.
- Rai, P.K., Mishra, V.N., Mohan, K., 2017. A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach. *Remote Sensing Applications Society and Environment*, 7: 9-20.
- Raj, P.N., Azeez, P.A., 2012. Morphometric analysis of a tropical medium river system: A case from Bharathapuzha River Southern India. *Open Journal of Modern Hydrology*, 2: 91-98.
- Rao, N.S., 2009. A numerical scheme for groundwater development in a watershed basin of basement terrain: A case study from India. *Hydrogeology Journal*, 17 (2): 379-396.
- Rao, L.A., Rehman, A., Yusuf, A., 2011. Morphometric analysis of drainage basin using remote sensing and GIS techniques: A case study of Etmadpur Tehsil, Agra District, U.P. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 1: 36-45.
- Rather, M.A., Satish Kumar, J., Farooq, M., Rashid, H., 2017. Assessing the influence of watershed characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(3): 59.
- Raya, A.M., Zuazo, V.H.D., Martinez, J.R.F., 2006. Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semiarid slopes (SE Spain). *Land Degradation and Development*, 17: 1-11.
- Reddy, O.G.P., Maji, A.K., Gajbhiye, S.K., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—A remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1): 1-16.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., Miller, J.R., 2002. *Process Geomorphology*. McGraw Hill, Boston.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5): 597-646.
- Schumm, S.A., 1973. Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. *Fluvial Geomorphology*, 6: 69-85.
- Sharma, S., Mahajan, A.K., 2020. GIS-based sub-watershed prioritization through morphometric analysis in the outer Himalayan region of India. *Applied Water Science*, 10(7): 1-11.
- Singh, W.R., Barman, S., Tirkey, G., 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhna Watershed. *Applied Water Science*, 11(9): 151.
- Smith, K.G., 1950. Erozyonel topografyanın dokusunu derecelendirme standartları. *Amerikan Bilim Dergisi*, 248 (9): 655-668.
- Soni, S., 2017. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique. *Applied Water Science*, 7: 2089-2102.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K., Ahmed, S., 2004. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, 47(3): 412-420.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11): 1117-1142.
- Strahler, A.N., 1956. Quantitative slope analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5): 571-596.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: *Handbook of Applied Hydrology* (Ed: Chow, V.), McGraw Hill, New York, pp. 9-76.
- Sutradhar, S., Mondal, P., 2023. Prioritization of watersheds based on morphometric assessment in relation to flood management: A case study of Ajay river basin, Eastern India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5: 1-11.
- Thomas, J., Joseph, S., Thirvikramji, K.P., Abe, G., 2011. Morphometric analysis of the drainagesystem and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kerala, India. *Journal of Geographical Sciences*, 21(6): 1077-1088.
- Turoğlu, H., 1997. İyidere Havzasının Hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, (32): 355-364.
- Umrakar, B.N., 2017. Morphometric analysis of Andhale watershed, Taluka Mulshi, District Pune, India. *Applied Water Science*, 7(5): 2231-2243.
- Utlu, M., Özdemir, H., 2018. Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü Biga Çayı havzası örneği. *Coğrafya Dergisi*, (36): 49-62.
- Uzun, M., 2021. İnegöl Havzasında drenaj ağı gelişimi ve flüvyal süreçlerin morfometrik analizlerle incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 30(1): 85-106.
- Verstappen, H., 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, New York.
- Vijith, H., Sathesh, R., 2006. GIS based morphometric analysis of two major upland sub-watersheds of Meenachil river in Kerala. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 34(2): 181-185.
- Vittala, S.S., Govindaiah, S., Gowda, H.H., 2008. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: An integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. *Current Science*, 345-354.
- Yangchan, J., Tiwari, A.K., Sood, A., 2015. Morphometric analysis of drainage basin through gis: A case study of Sukhna Lake Watershed in lower Shiwalik, India. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6(2): 1015-1023.
- Youssef, F.B., Doumit, J.A. 2023. Morphometric analysis of hillslope evolution in the Kadisha River Basin based on archived aerial photographs. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(1): 100132.
- Yüksel, T., Özçelik, A.E., Verp, B., 2020. Fırtına havzasının bazı havza karakteristikleri ile arazilerin fizyografik özelliklere göre dağlımlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(3): 439-449.
- Zaidi, F.K., 2011. Drainage basin morphometry for identifying zones for artificial recharge: A case study from the Gagas River Basin, India. *Journal of the Geological Society of India*, 77(2): 160-166.

Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların bazı özelliklerinin belirlenmesi

Mehmet Emin Ergün^{a,b,*} , İsmail Özlüsoylu^b 

Özet: Ahşap sektöründe kullanılan tutkalların büyük bir bölümü fosil yakıt temelli olup özellikle içerisindeki formaldehit nedeniyle çevre ve insan sağlığı açısından riskler oluşturmaktadır. Bu olumsuz durumu azaltmak amacıyla son yıllarda formaldehit emisyonunu azaltmaya yönelik farklı yöntemler üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar içerisinde biyo bazlı tutkal kullanımı sağlık açısından sahip olduğu olumlu özellikler nedeniyle ilgi görmektedir. Bu çalışmada, doğal polimerlerden kitosan ve guar sakızı kullanılarak üretilen bağlayıcının ahşap tutkalı olarak kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla kitosan bazlı tutkalın içerisine 4 farklı oranda (%0.06, %0.2, %1 ve %2) guar sakızı ilave edilmiştir. Elde edilen tutkalın viskozitesi ölçülerek, farklı orandaki guar sakızı ilavesinin bağ kuvveti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Ayrıca kitosan bazlı tutkalların odun ile etkileşimini incelemek amacıyla Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi yapılmıştır. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozitesi 1380 CP ile 5264 CP arasında bulunmuştur. %0.2 oranında guar sakızı ilave edilmiş kitosan bazlı tutkalın bağ kuvvet değerinin, guar sakızı ilave edilmeyen gruba göre %88 oranında iyileştiği tespit edilmiştir. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın özellikle çevreci yapısı ile olumlu özelliklere sahip olduğu ve farklı alanlarda kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kitosan, Guar sakızı, Tutkal, Bağ kuvvet değeri, FTIR

Determination of some properties of guar gum added chitosan based adhesives

Abstract: Most of the adhesives used in the wood industry are fossil fuel-based and cause risks to the environment and human health, especially due to formaldehyde content. In order to reduce this negative situation, research on different methods to reduce formaldehyde emissions has been carried out in recent years. Among these research, the use of bio-based adhesives attracts attention, especially because of its positive properties in terms of health. This study investigated the potential of using natural polymers chitosan and guar gum as a wood adhesive. For this purpose, guar gum was incorporated into the chitosan-based adhesive in 4 different ratios (0.06%, 0.2%, 1%, and 2%). The impact of adding different amounts of guar gum on the binding strength was assessed by measuring the viscosity of the produced glue. In addition, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis was performed to examine the interaction of chitosan-based adhesives with wood. The viscosity of the chitosan-based adhesive with the addition of guar gum was found to be between 1380 CP and 5264 CP. It was found that the bond strength value of the chitosan-based adhesive with % 0.2 guar gum added improved by 88% compared to the group without guar gum. It was concluded that chitosan-based glue with guar gum added has positive properties especially with its environmentalist structure and can be used in different areas.

Keywords: Chitosan, Guar gum, Adhesive, Bond strength value, FTIR

1. Giriş

Ahşap, kolay işlenmesi, yalıtım özelliğine sahip olması, estetik görünümü yanında gerek kullanımı sırasında gerekse kullanım ömrünü tamamladıktan sonra insana ve çevreye herhangi bir zararı olmamasından dolayı sıklıkla tercih edilen yapı ve mühendislik malzemesidir (Özlüsoylu ve İstek, 2015; Ergun, 2021). Günümüzde artan nüfus ve gereksinimler nedeniyle masif odun ihtiyacı karşılanamadığından farklı lignoselülozik atıkların değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Atık ya da düşük değerli hammaddeler tutkal ilavesi ile hem farklı masif malzemelerin hem de yonga ve lif levha gibi ahşap esaslı kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır. Ahşap esaslı kompozit ve masif malzemelerin üretiminde farklı

özellikteki bağlayıcılar değerlendirilmektedir. Üretilen formaldehit, melamin formaldehit ve fenol formaldehit gibi sentetik tutkallar kimyasal çok yönlülükleri, reaktiviteleri ve ekonomik olmaları nedeniyle yaygın kullanıma sahiptir. (Özlüsoylu ve İstek, 2018; Solt vd., 2019). Ancak sentetik tutkallar zararlı uçucu organik bileşik sınıfına giren serbest formaldehit içerdiğinden dolayı hem üretimde hem de kullanım sırasında insan ve çevre sağlığı açısından riskler taşımaktadır. Bu risklerin başında gelen ahşap esaslı kompozitlerden kaynaklanan formaldehit emisyonlarını azaltmak için son yıllarda önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Özlüsoylu, 2016; İstek vd., 2018). Özellikle iç mekân uygulamaları için formaldehit kullanımının tamamen yasaklanmasına ve geleneksel tutkalların biyo-bazlı olanlarla değiştirilmesine kadar birçok

✉ ^a Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Akseki Meslek Yüksekokulu, Ormanlık Bölümü, Ormanlık ve Orman Ürünleri Programı, Akseki, Antalya, Türkiye

^b Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): mehmet.ergun@alanya.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 16.11.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 06.03.2023



Citation (Atfı): Ergün, M.E., Özlüsoylu, İ., 2023. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların bazı özelliklerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 39-44.
DOI: [10.18182/tjf.1205757](https://doi.org/10.18182/tjf.1205757)

alternatif üzerinde durulmaktadır (İstek vd., 2020; Rizhikovs vd., 2022). Nişasta, selüloz, tanen, yüksek moleküler ağırlıklarına sahip olan karboksilatlar, eterler, hidroksiller gibi hidrojen bağlayıcı fonksiyonel ve polar gruplar yüksek yapışma özelliği göstermektedir (Mohammadinejad vd., 2019).

Biyo tutkallar arasında en çok araştırılan polimerlerin hemiselüloz, tanen, lignin, nişasta, guar sakızı ve kitosan olduğu belirtilmektedir (Mathias vd., 2016). Kitinin alkali deasetilasyonu ile elde edilen kitosan, biyolojik kaynaklı tek katyonik polisakkarit olup, doğada selülozdan sonra en çok bulunan biyopolimerdir (Yıldırım vd., 2022). Asidik sulu çözeltilerde (hidroklorik asit, asetik asit, sitrik asit vb.) çözünür olup, rastgele dağılmış β -(1,4)-bağlı d-glukozamin ve N-asetil-d-glukozaminden oluşmaktadır. Kitosan, C-2 konumunda birincil amin gruplarına, C-6 konumunda birincil alkolik gruplara ve ayrıca ikincil hidroksil gruplarına sahiptir. Bu biyopolimer, kristalin alanlar oluşturan molekül içi ve/veya moleküller arası hidrojen bağı nedeniyle nötr ve bazik pH'ta çözünmez. Kitosan, su arıtma, sağlık, gıda ve kozmetik alanlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ozen vd., 2021). Son zamanlarda kitosanın gerek biyomedikal alanda gerekse ahşap-kompozit ve köpük sektöründe kullanılabilirliği üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır (Altuntaş ve Aydemir, 2019; Ergun, 2023). Kitosan iyi yapışma ve mekanik özellikleri, biyolojik olarak bozunabilirliği ve uyumluluğu sayesinde yapıştırıcı ve bağlayıcı alanlarında yoğun olarak uygulanmaktadır (Mati-Baouche vd., 2019). Diğer taraftan, guar sakızı Afrika'da yetişen *Vachellia Seyal* ve *Senegalia Senegal* türü akasya ağaçlarından ekstrakte edilen yoğun gözenekli ve suda çözünebilir doğal, yenilenebilir, nötr bir polisakkarittir (Chen vd., 2017). Ana zinciri, 1, 4-glukozit bağları kullanılarak β -D-mannopiranoz yoluyla oluşturulan guar sakızının. α -D-galaktoz yan zincirleri ana zince 1,6 glikozit bağı ile bağlıdır ve dallı zincir yapısı çok sayıda polar hidroksil grubuna sahiptir (Brinker, 2007).

Yapılan farklı çalışmalarda nişasta (Yu vd., 2015), lignin (Dunky, 2021), tanen (Gönültaş ve Uçar, 2019) ve kitosanın (Patel vd., 2013) masif ve kompozit ahşap üretiminde bağlayıcı olarak kullanılabilirliği belirtilmiştir. Sakaroz ve manyok (*Manihot esculenta*) nişastasını oksitleyerek üretilen kitosan bazlı tutkallar kontrplak

üretiminde kullanılmış olup, mekanik özellikleri %163 oranında arttırdığı tespit edilmiştir (Xi vd., 2022). Başka bir çalışmada ise soya proteini ve kitosan bazlı tutkalın, kovalent ve hidrojen bağlarının yapışma derecesini arttırmamasından dolayı çekme mukavemetinde %61 oranında iyileşme sağladığı belirtilmiştir (Zeng vd., 2022).

Bu çalışmada yüksek moleküler ağırlıklı kitosana farklı oranlarda guar sakızı ilave edilerek elde edilen tutkalın viskozitesi ve bağ kuvvetleri belirlenmiştir. Ayrıca tutkallı odun örneklerinin FTIR analizi yapılarak odun ile tutkal arasındaki etkileşim incelenmiştir.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Materyal

Yüksek moleküler ağırlıklı kitosan (moleküler ağırlığı: 310000 ile 375000 Da arasında), borik asit ve gliserol, Sigma-Aldrich'ten (Schnelldorf, Almanya) satın alınmıştır. Guar sakızı ise Aromel Kimyadan (Konya, Türkiye) temin edilmiştir. Ayrıca tutkalın bağ kuvvetini belirlemek amacıyla yapılan double lap shear testinde karaçam (*Pinus nigra*) odunu kullanılmıştır.

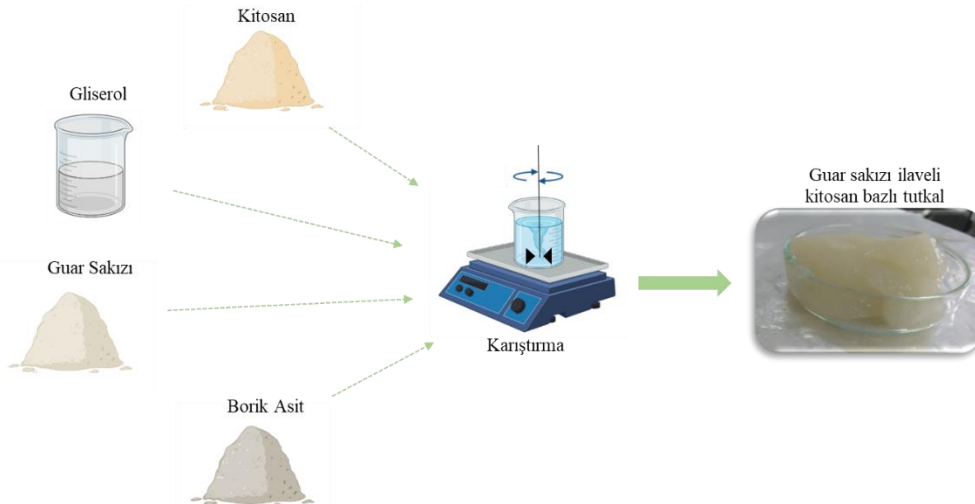
2.2. Yöntem

Hem guar sakızı hem de kitosan asidik koşullarda çözülebilir olduğundan saf suda %4'lük borik asit çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra guar sakızı 1200 rpm'de borik asit içinde 2 saat karıştırılmış, bu çözeltilere kitosan ve gliserol eklenerek 600 rpm'de 6 saat daha karıştırılmıştır. Tüm karıştırma işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen tutkalların içeriği Çizelge 1'de verilmiştir. Kitosan bazlı tutkalın hazırlanma yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kitosan bazlı tutkalların içeriği

Kodlar	Kitosan (%)	Guar Sakızı (%)	Borik Asit (%)	Gliserol (%)
KGT-0	6	0	4	1.5
KGT-1	6	0.06	4	1.5
KGT-2	6	0.2	4	1.5
KGT-3	6	1	4	1.5
KGT-4	6	2	4	1.5

* KGT: Kitosan-guar sakızı tutkalı



Şekil 1. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın üretimi

2.3. Karakterizasyon

Üretilen tutkalların viskozitesi KU-2 viskozimetresi (Brookfield, ABD) ile ISO 9665 standartlarına göre ölçülmüş ve sonuçlar centipoise (CP) olarak verilmiştir. Fourier transform kızılötesi (FTIR) analizleri, IRAffinity-1 FTIR (Shimadzu, Kyoto, Japonya) spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 700 cm^{-1} ile 4000 cm^{-1} spektrum aralığında yapılmıştır. Bağ kuvveti ölçümleri için $5\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ (kalınlık×genişlik×uzunluk) boyutlarında double lap shear numuneleri hazırlanmıştır. Numune yüzeylerine 400 g/m^2 olacak şekilde tutkal sürülmüştür. Tutkal sürülen numuneler sıcak pres altında 60 °C 'de 0.7 N/mm^2 basınç altında 2 saat tutulmuştur (Abdelmoula vd., 2021). Bağ kuvveti ölçümlerinden önce numuneler iki hafta süre ile 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nemde bekletilmiştir. Double lab shear numunelerinin mekanik karakterizasyonu, ASTM D 3528-96 (2016) standardına göre Utest universal test cihazında (Utest Malzeme Test Cihazları, Ankara, Türkiye) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bağ kuvveti Patel vd. (2013) çalışmasında yapmış olduğu aşağıdaki Denklem (1) ile hesaplanmıştır:

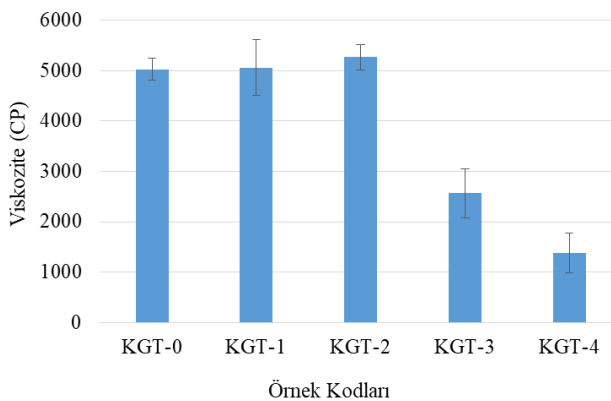
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{2A} \quad (1)$$

σ bağ kuvveti, F_{\max} uygulanan maksimum kuvvet (N) ve A tutkal sürülen alan (mm^2).

Farklı oranlardaki guar miktarının bağ direncini etkisini belirlemek için ortalama bağ kuvvet değerleri SPSS 16 programı kullanılarak %95 güven düzeyinde ($p < 0.05$) tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiş istatistiksel olarak önem arz eden homojenlik grupları ise DUNCAN homojenlik testi ile belirlenmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

Bir akışkanın viskozitesi, akışkanın kademeli deformasyona ve yayılmaya karşı direncinin bir ölçüsüdür. Kitosan çözeltilerinin viskozitesi, moleküler ağırlığı ($310000\text{--}375000$), konsantrasyon, pH'ları, sıcaklık ve deasetilasyon dereceleri ile ilgilidir (Kasaai vd., 2000). Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın ölçülen viskozite değerleri Şekil 2'de verilmiştir.



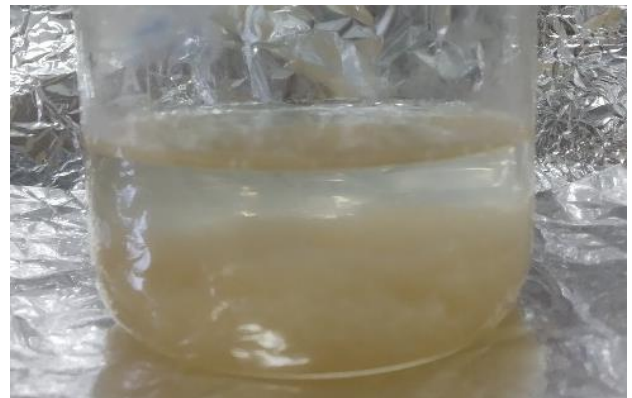
Şekil 2. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozite değerleri

Guar sakızı konsantrasyonuna bağlı olarak kitosan bazlı tutkalın viskozitesi 1380 CP ile 5264 CP arasında değişmektedir. Çözeltiye %2 den daha fazla guar sakızı ilave edilmesi durumunda çözünmeme ve çökme gibi durumların ortaya çıktığı görülmüştür. %3 lük guar sakızı kullanılması sonucunda üretilen tutkal içerisindeki çözünmeme ve çökme durumu Şekil 3'te görülmektedir.

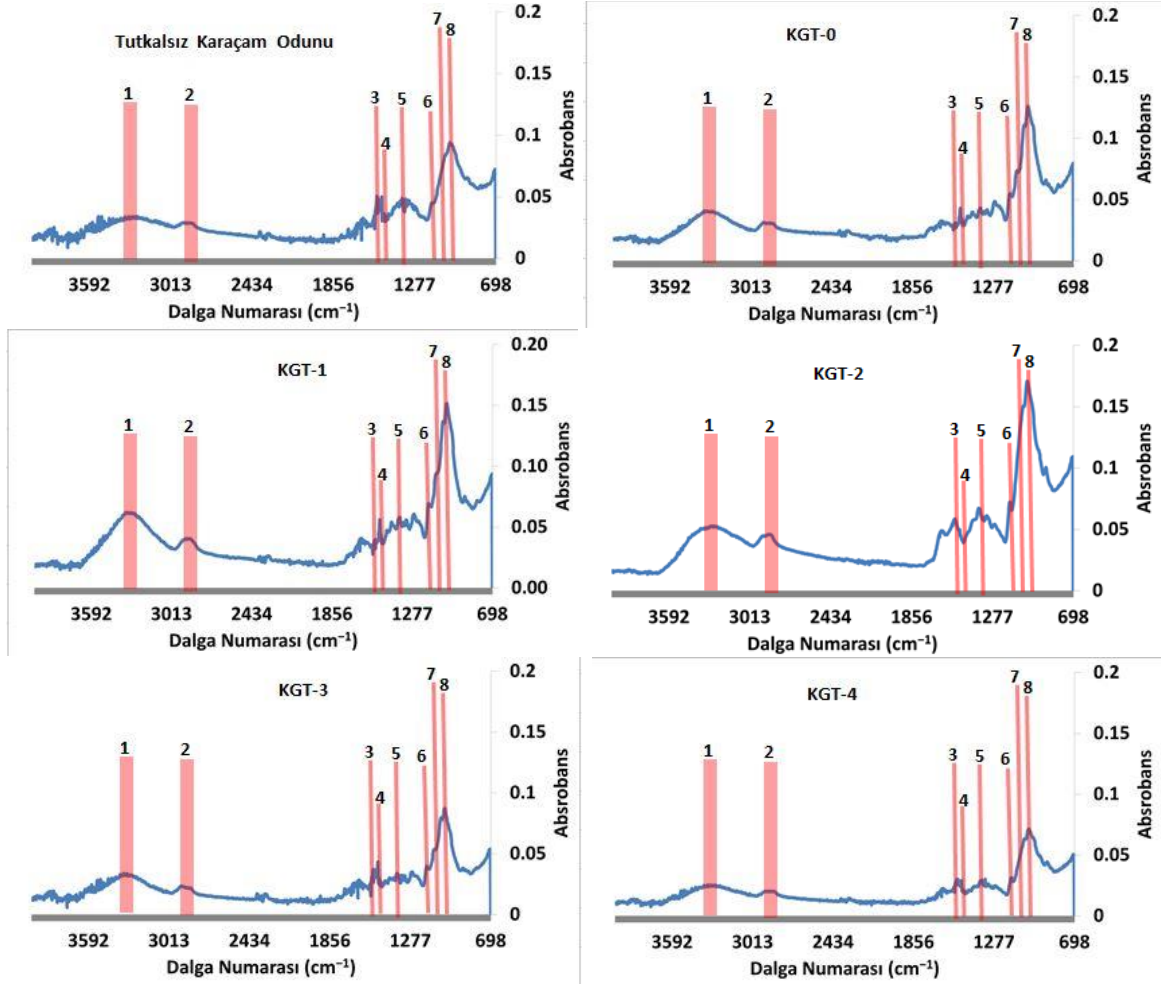
Homojen bir şekilde çözünen kitosan bazlı tutkal içerisindeki guar sakızı oranının özellikle toplam çözeltiye göre %1'e kadar olduğu durumlarda tutkalın viskozite değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın kitosan, guar sakızı ve borik asit arasında meydana gelen etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü kitosanda bulunan pozitif yüklü NH_3 ve guar sakızında bulunan negatif yüklü OH grupları arasında hidrojen bağı oluşumu meydana gelmektedir. Diğer taraftan borik asit suda çözüldüğünde tetrahidro borat iyonları oluşturmak üzere ayrışır (Prosanov vd., 2018). Tetrahidro borat iyonları ile selüloz, nişasta guar sakızı gibi nükleofilik dioller bulunan polimerler arasındaki reaksiyonun bir sonucu olarak çapraz bağlar meydana gelmektedir (Gadhavie vd., 2021). Sonuç olarak, kitosan, guar sakızı ve borik asitte bulunan gruplar, hidrojen bağı oluşumuna katıldığında oluşan hidrojen bağı miktarını etkileyebilir. Buna göre, kitosan ve guar sakızı arasında oluşan hidrojen bağlarının sayısının viskozite üzerinde etkili olduğu düşünülebilir. Biyo mürekkep üretiminde kitosan ve guar sakızı kullanılan bir çalışmada guar sakızı ilavesinin ilk başta viskoziteyi arttırdığı ancak yüksek oranlarda guar sakızı ilavesiyle viskozitede düşüş olduğu ifade edilmiştir (Cleymand vd., 2021). Mevcut çalışmada %1 ve üzerindeki guar sakızı ilavesiyle viskozite düşmesinin nedeni guar sakızı çözeltilerinin tiksotropik davranışı kaynaklı olabilmektedir (Rao vd., 2010).

Şekil 4'te 4000 ile 700 cm^{-1} 'de tutkalsız karaçam odununun ve odun yüzeyine sürülmüş farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan tutkalının FTIR spektrumları verilmiş olup Çizelge 2'de de bu karakteristik pikler gösterilmiştir.

Tutkalsız karaçam odunun FTIR sonuçları, Herrera vd. (2022), yapmış olduğu çalışmada verilen FTIR pikleri ile benzerlik göstermektedir. Guar sakızının FTIR spektrumları 3250 cm^{-1} OH grubuna, 2851 cm^{-1} alifatik C-H grubuna aittir. Ayrıca guar sakızına ait CH_2 grubunun düzlem dışı eğilmesi 1457 cm^{-1} 'de görülür ve 1025 cm^{-1} 'de eğilmesi $\text{CH}_2\text{--O--CH}_2$ fonksiyonel grubunu göstermektedir (Iqbal vd., 2020). Ancak guar sakızı ile kitosan piklerinin çakışmasından dolayı belirgin bir şekilde birbirinden ayırt edilememektedir.



Şekil 3. %3 lük guar sakızı içeren örnek



Şekil 4. Tutkalsız ve farklı oranlarda guar ilaveli kitosan tutkalı sürülmüş örneklerin FTIR spektrumları

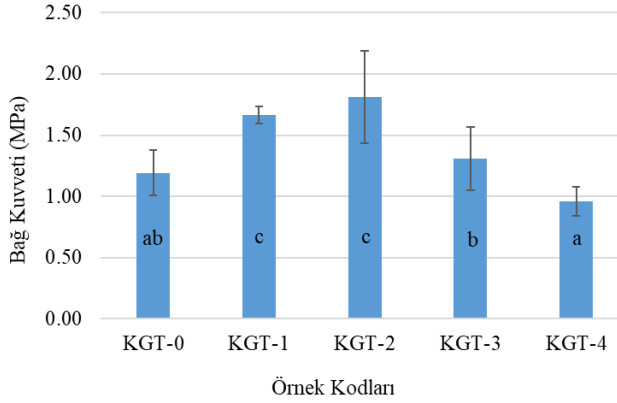
Çizelge 2. Tutkalsız karaçam odununun ve odun yüzeyine sürülmüş farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan tutkalının karakteristik FTIR spektrum bantları

No	Dalga numarası (cm ⁻¹)	FTIR spektrum bandı	Kaynak
1	3285-3250	N-H ve O-H gruplarının eğilmesi	Baran, 2020
2	2851-2825	Alifatik C-H grubunun eğilmesi	Herrera vd., 2022
3	1546	Amid II grubunun eğilmesi	Cirak vd., 2018
4	1457	CH ₂ grubunun eğilmesi	Iqbal vd., 2020
5	1372	NHCOCH ₃ grubunun gerilmesine	Baran, 2020
6	1125	C-O-C grubunun gerilmesine	Vino vd., 2012
7	1025	CH ₂ -O-CH ₂ grubunun eğilmesi	Iqbal vd., 2020
8	1017	C-O grubunun gerilmesi	Song vd., 2013

Kitosanda bulunan N-H ve OH grupları da 3285 cm⁻¹ civarında görülmektedir. Ayrıca alifatik C-H grubu 2825 cm⁻¹ pik vermektedir. Kitosanda bulunan amid II piki 1546 cm⁻¹ ve 1372 cm⁻¹'de NHCOCH₃ gerilmesine ait karakteristik pikler görülmektedir (Baran, 2020). 1125 cm⁻¹'deki absorpsiyon bandının, C-O-C bağlarının asimetrik gerilmesine bağlanabileceği ve 1017 cm⁻¹'deki bantların C-O gerilmesine karşılık geldiği farklı çalışmalarda da belirtilmiştir (Vino vd., 2012; Song vd., 2013). Odun yüzeyine sürülen tutkallarda kitosan ile odun yüzeyi arasında N-H ve O-H bağlarından kaynaklanan hidrojen

bağı artışından dolayı 3280 cm⁻¹ civarındaki pik şiddeti artmıştır. Bu gözlem hem odun ile tutkal arasında hem de kitosan ile guar sakızı arasındaki etkileşiminden dolayı yüksek pik şiddetine sahip %0.2 guar sakızı ilaveli KGT-2 kodlu örneğin en yüksek bağ kuvvet değerine sahip olması sonucunu desteklemektedir.

Farklı oranlarda guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkallarla yapılandırılmış deney örneklerinin bağ kuvveti değerleri ve tek yönlü varyans analizi sonucunda elde edilen Duncan homojenlik grupları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalların double lap shear örneklerinin bağ kuvvet değerleri (Verilerin ortalamaları verilmiş olup, hata çubukları da standart sapmaları göstermektedir. a, b ve c harfleri ise homojenlik gruplarını ifade etmektedir)

Şekil 5 incelendiğinde kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerlerinin 0.96 MPa ile 1.81 MPa arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer, %0.2 guar sakızı ilave edilen KTG-2 kodlu örnekte 1.81 MPa olarak elde edilmiş olup, bu tutkal karışımı %0.06 guar sakızı ilave edilen KGT-1 ile aynı homojenlik grubundadır. Diğer taraftan, 0.96 MPa ile en düşük bağ kuvveti değerini veren %2 guar sakızı ilave edilen KGT-4 kodlu örnek ise guar sakızı ilave edilmeyen KGT-0 ile aynı homojenlik grubunda olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin bağ kuvveti, büyük ölçüde odun ve tutkal arasındaki etkileşime bağlıdır. Kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerleri ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'e bakıldığında elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir bir değer aralığında olduğu görülmektedir. Yüzey gerilimi ve viskoziteye bağlı olarak, kitosan bazlı tutkallar odunlara derinlemesine nüfuz edebilir. Tutkal akışkan haldeyken, pozitif yüklü kitosan (asit pH), elektrostatik kuvvetler, van der Waals kuvvetleri ve D-glukozamin ile yapışan veya hidratlanmış yüzey arasındaki hidrojen bağları aracılığıyla negatif yüklü yüzeyle güçlü bir şekilde etkileşime girdiği belirtilmektedir (Lee vd., 2013). Genellikle tutkallarda yüksek kohezyon mukavemetine ihtiyaç duyulduğundan aşırı miktarda dolgu malzemesi kullanılması istenmemektedir. Aşırı dolgu maddesi ilavesi tutkalın kohezyon kuvvetini azaltarak malzemenin mekanik özelliklerini düşürdüğü vurgulanmaktadır (Şenay, 1996).

Çizelge 3: Kitosan bazlı tutkalların bağ kuvvet değerleri ve literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması.

Kullanılan tutkal	Bağ kuvvet değeri (MPa)	Kaynak
Kitosan ve guar sakızı	0.96-1.81	Mevcut çalışma
Kitosan ve lignin	0.9-1.3	Ji ve Guo, 2018
Kitosan	3.4-6.1	Patel vd., 2013
Çeşitli karbonhidratlar, nişasta ve kitosan	0.55-1.65	Xi vd. 2022
Kitosan	1.5-1.8	Bumgardner vd., 2003
Tanen	0.006-0.036	Morandini vd., 2022
Soya fasulyesi, kitosan ve yoğunlaştırılmış tanen	1.12-2.44	Chen vd., 2022
Kitosan ve tanen	0.69-5.46	Jiang vd., 2023

4. Sonuç

Bu çalışmada, ahşap sektöründeki sentetik içerikli geleneksel tutkallara alternatif biyo polimer bazlı tutkallar üretilmiştir. Üretilen guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın viskozite değerleri 1380 CP ile 5264 CP arasında bulunmuştur. %0.2 guar sakızı ilavesine kadar viskozite değerlerinin arttığı ancak bu değerlerin üzerine çıktığında viskozite değerinin düştüğü belirlenmiştir. Guar sakızı ilaveli (%0.2) kitosan bazlı tutkalın bağ kuvvetinin guar sakızı ilave edilmeyen tutkal karışımına göre %88 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Ayrıca %1 ve üstü guar sakızı ilavesinin bağ kuvveti üzerinde olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkal umut verici sonuçlar vermesine rağmen, geleneksel sentetik tutkallara göre elde edilen bağ kuvveti değerleri düşüktür. Ancak doğal bileşime sahip bir bağlayıcı olması açısından avantajlı olup, belli kullanım yerlerinde tercih edilebilir. Ayrıca çapraz bağlayıcı kimyasallar kullanılarak mekanik özellikleri daha da iyileştirilerek kullanım alanı genişletilebilir. Gelecek çalışmalarda guar sakızı ilaveli kitosan bazlı tutkalın bağ kuvveti performansının soğuk ve sıcak suda değerlendirilmesinin yanında, farklı ahşap kompozit levhaların üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılmasının da önemli olduğu düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Abdelmoula, M., Ben Hlima, H., Michalet, F., Bourduche, G., Chavant, J.Y., Gravier, A., Delattre, C., Grédiac, M., Mathias, J.D., Abdelkafi, S., Michaud, P., de Baynast, H., 2021. Chitosan-based adhesive: Optimization of tensile shear strength in dry and wet conditions. *Polysaccharides*, 2: 110-120.
- Altuntas, E., Aydemir, D., 2019. Effects of wood flour on the mechanical, thermal and morphological properties of poly (L-lactic acid)-chitosan biopolymer composites. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 21(4): 611-618.
- ASTM D3528-96, 2016. Standard test method for strength properties of double lap shear adhesive joints by tension loading. *Annual Book of ASTM Standards*, USA.
- Baran, T., 2020. Highly active and robust palladium nanoparticles immobilized on biodegradable microcapsules containing chitosan-guar gum composite for synthesis of biaryl compounds. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 113-121.
- Brinker, A., 2007. Guar gum in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: The influence of quality and dose on stabilisation of faecal solids. *Aquaculture*, 267(1-4): 315-327.
- Bumgardner, J.D., Wisner, R., Gerard, P.D., Bergin, P., Chestnutt, B., Marini, M., Gilbert, J.A., 2003. Chitosan: Potential use as a bioactive coating for orthopaedic and craniofacial/dental implants. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 14(5): 423-438.
- Chen, H., Xu, Z., Mo, J., Lyu, Y., Tang, X., Shen, X., 2017. Effects of guar gum on adhesion properties of soybean protein isolate onto porcine bones. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 75: 124-131.
- Chen, Y., Lyu, Y., Yuan, X., Ji, X., Zhang, F., Li, X., Li, J., 2022. A biomimetic adhesive with high adhesion strength and toughness comprising soybean meal, chitosan, and condensed tannin-functionalized boron nitride nanosheets. *International Journal of Biological Macromolecules*, 219: 611-625.
- Cirak, O., Icyer, N.C., Durak, M.Z., 2018. Rapid detection of adulteration of milks from different species using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). *Journal of Dairy Research*, 85(2): 222-225.

- Cleymand, F., Poerio, A., Mamanov, A., Elkhoury, K., Ikhelf, L., Jehl, J.P., Mano, J.F., 2021. Development of novel chitosan/guar gum inks for extrusion-based 3D bioprinting: Process, printability and properties. *Bioprinting*, 21: e00122.
- Dunky, M., 2021. Wood adhesives based on natural resources: A critical review: Part III: Tannin- and lignin-based adhesives. *Progress in Adhesion and Adhesives*, 6: 383-529.
- Ergun, H., 2021. Segmentation of wood cell in cross-section using deep convolutional neural networks. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 41: 7447-7456.
- Ergun, M.E., 2023. Activated carbon and cellulose-reinforced biodegradable chitosan foams. *BioResources*, 18(1): 1215-1231.
- Gadhavre, R.V., Mahanwar, P.A., Gadekar, P.T., 2021. Effect of addition of boric acid on thermo-mechanical properties of microcrystalline cellulose/polyvinyl alcohol blend and applicability as wood adhesive. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(10): 1072-1086.
- Gönültaş, O., Uçar, M., 2019. Doğu ladini ve meşe kabuk taneninin biyotutkal üretiminde kullanılması. *Turkish Journal of Forestry*, 20(4): 458-465.
- Herrera, R., Hermoso, E., Labidi, J., Fernandez-Golfin, J.I., 2022. Non-destructive determination of core-transition-outer wood of *Pinus nigra* combining FTIR spectroscopy and prediction models. *Microchemical Journal*, 179: 107532.
- Iqbal, D.N., Nazir, A., Iqbal, M., Yameen, M., 2020. Green synthesis and characterization of carboxymethyl guar gum: Application in textile printing technology. *Green Processing and Synthesis*, 9(1): 212-218.
- Istek, A., Bicer, A., Özlüsoyulu, İ., 2020. Effect of sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) added to urea-formaldehyde resinon particleboard properties. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44(5): 526-532.
- Istek, A., Özlüsoyulu, İ., Onat, S.M., Özlüsoyulu, Ş., 2018. Formaldehyde emission problems and solution recommendations on wood-based boards. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 20(2): 382-387.
- ISO 9665, 1998. Adhesives — Animal glues — Methods of sampling and testing. International Standardization Organization, Switzerland.
- Ji, X., Guo, M., 2018. Preparation and properties of a chitosan-lignin wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 82: 8-13.
- Jiang, S., Liu, S., Du, G., Wang, S., Zhou, X., Yang, J., Li, T., 2023. Chitosan-tannin adhesive: Fully biomass, synthesis-free and high performance for bamboo-based composite bonding. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123115.
- Kasaai, M.R., Arul, J., Charlet, G., 2000. Intrinsic viscosity-molecular weight relationship for chitosan. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 38(19): 2591-2598.
- Lee, D.W., Lim, C., Israelachvili, J.N., Hwang, D.S., 2013. Strong adhesion and cohesion of chitosan in aqueous solutions. *Langmuir*, 29: 14222-14229.
- Mathias, J.D., Grédiac, M., Michaud, P., 2016. Bio-based adhesives. In: *Biopolymers and Biotech Admixtures For Eco-Efficient Construction Materials* (Ed: Pacheco-Torgal, F., Ivanov, V., Karak, N., Jonkers, H.), Woodhead Publishing, Duxford, pp. 369-385.
- Mati-Baouche, N., Delattre, C., De Baynast, H., Grédiac, M., Mathias, J.D., Ursu, A.V., Michaud, P., 2019. Alkyl-chitosan-based adhesive: Water resistance improvement. *Molecules*, 24(10): 1987.
- Mohammadinejad, R., Maleki, H., Larraneta, E., Fajardo, A.R., Nik, A.B., Shavandi, A., Sheikhi, A., Ghorbanpour, M., Farokhi, M., Govindh, P., Cabane, E., Azizi, S., Aref, A.R., Mozafari, M., Mehrali, M., Thomas, S., Mano, J.F., Mishra, Y.K., Thakur, V. K., 2019. Status and future scope of plant-based green hydrogels in biomedical engineering. *Applied Materials Today*, 16: 213-246.
- Morandini, M.C., Kain, G., Eckardt, J., Petutschnigg, A., Tippner, J., 2022. Physical-mechanical properties of peat moss (sphagnum) insulation panels with bio-based adhesives. *Materials*, 15(9): 3299.
- Ozen, E., Yildirim, N., Dalkilic, B., Ergun, M.E., 2021. Effects of microcrystalline cellulose on some performance properties of chitosan aerogels. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*, 23(26): 1-10.
- Özlüsoyulu, İ., İstek, A., 2015. Mobilya üretiminde kullanılan panellerden salınan formaldehit emisyonu ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2): 213-227
- Özlüsoyulu, İ., 2016. Üre formaldehit tutkalının sodyum-karboksimetilselüloz ile modifikasyonun yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Özlüsoyulu, İ., İstek, A., 2018. Sodyum karboksimetil selüloz (Na-CMC) takviyeli üre formaldehit tutkalının yonga levha özellikleri ve formaldehit emisyonuna etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(3): 317-322.
- Patel, A.K., Michaud, P., Petit, E., de Baynast, H., Grédiac, M., Mathias, J.D., 2013. Development of a chitosan-based adhesive. Application to wood bonding. *Journal of Applied Polymer Science*, 127(6): 5014-5021.
- Prosanov, I.Y., Abdulrahman, S.T., Thomas, S., Bulina, N.V., Gerasimov, K.B., 2018. Complex of polyvinyl alcohol with boric acid: Structure and use. *Materials Today Communications*, 14: 77-81.
- Rao, M.S., Kanatt, S.R., Chawla, S.P., Sharma, A., 2010. Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*, 82(4): 1243-1247.
- Rizhikovs, J., Brazdauskas, P., Paze, A., Tupciauskas, R., Grinins, J., Puke, M., Makars, R., 2022. Characterization of suberinic acids from birch outer bark as bio-based adhesive in wood composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 112: 102989.
- Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmatter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter, R., Van Herwijnen, H.W., 2019. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 94: 99-131.
- Song, C., Yu, H., Zhang, M., Yang, Y., Zhang, G., 2013. Physicochemical properties and antioxidant activity of chitosan from the blowfly *Chrysomya megacephala* larvae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60: 347-354.
- Şenay, A., 1996. Lamine edilmiş ağaç malzemenin teknolojik özellikleri. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vino, A.B., Ramasamy, P., Shanmugam, V., Shanmugam, A., 2012. Extraction, characterization and in vitro antioxidative potential of chitosan and sulfated chitosan from Cuttlebone of *Sepia aculeata* Orbigny, 1848. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(1): S334-S341.
- Xi, X., Pizzi, A., Lei, H., Zhang, B., Chen, X., Du, G., 2022. Environmentally friendly chitosan adhesives for plywood bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 112: 103027.
- Yildirim, N., Ozen, E., Ergun, M.E., Dalkilic, B., 2022. A study on physical, morphological and antibacterial properties of bio polymers reinforced polyvinyl acetate foams. *Materials Research*, 25: e20210579.
- Yu, H., Cao, Y., Fang, Q., Liu, Z., 2015. Effects of treatment temperature on properties of starch-based adhesives. *BioResources*, 10(2): 3520-3530.
- Zeng, G., Zhou, Y., Liang, Y., Zhang, F., Luo, J., Li, J., Fang, Z., 2022. A hair fiber inspired bio-based adhesive with high bonding strength and mildew tolerance. *Chemical Engineering Journal*, 434: 134632.

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., Çalıkoglu, 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, 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.

