



## Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak saf kavak meşcerelerinde meşcere hacmi ve göğüs yüzeyinin tahmin edilmesi

Sultan Demir<sup>1</sup>, Alkan Günlü<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Orman Genel Müdürlüğü, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Erzurum, Türkiye

<sup>2</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Uluyazı Kampüsü, Merkez, Çankırı, Türkiye

### MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 30/09/2024  
Kabul Tarihi : 15/11/2024  
<https://doi.org/10.53516/ajfr.1558255>  
\*Sorumlu Yazar:  
alkangunlu@karatekin.edu.tr

### ÖZ

*Giriş ve Hedefler* Meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi gibi meşcere özellikleri orman kaynaklarını değerlendirmek için önemlidir. Bu nedenle, sürdürülebilir bir şekilde ormanların planlanmasında meşcere özelliklerinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesi kritik öneme sahiptir. Geleneksel olarak, meşcere özellikleri arazide envanter aşamasında yersel ölçümlerle belirlenmektedir. Ancak geniş ormanlık alanlarda meşcere özelliklerinin belirlenmesi oldukça emek isteyen, maliyetli ve zaman alıcı olmaktadır. Son yirmi yılda gelişen uzaktan algılama teknolojisinde meydana gelen

### Araştırma Makalesi

değişmelerle birlikte uzaktan algılama verileri kullanılarak meşcere özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar sürekli artmaktadır.

*Yöntemler* Çalışmada toplam 121 adet örnek alandan elde edilen veriler kullanılmıştır. Her bir örnek alan için meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte, her bir örnek alan için Sentinel-2 uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri hesaplanmıştır. Meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi ile uydu görüntüsünden elde edilen değişkenler arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiş ve toplam 6 adet model geliştirilmiştir.

*Bulgular* Çalışmadan elde edilen bulgular incelendiğinde meşcere hacmi için en iyi model başarısı bant reflektans ve vejetasyon indislerinin birlikte bağımsız değişken olarak yer aldığı modelde, meşcere göğüs yüzeyi için ise sadece vejetasyon indislerinin bağımsız değişken olarak yer aldığı modelde bulunmuştur.

*Sonuçlar* Geliştirilen model başarıları incelendiğinde en iyi model belirtme katsayısı, meşcere hacmi için ( $R^2_{düz}=0,569$ ;  $Sy.x=0,49989$  m<sup>3</sup>/ha) ve meşcere göğüs yüzeyi için ise ( $R^2_{düz}=0,420$ ;  $Sy.x=0,47304$  m<sup>2</sup>/ha) olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Meşcere parametresi, uzaktan algılama, modelleme

## Estimating stand volume and basal area using Sentinel-2 satellite image in pure poplar stands

### ABSTRACT

*Background and aims* Stand characteristics, such as stand volume and basal area, are important for assessing forest resources. Therefore, accurately and reliably determining stand characteristics is critical for sustainable forest planning. Traditionally, stand characteristics are determined through ground measurements during the inventory phase in the field. However, determining stand characteristics over large forested areas is labor-intensive, costly, and time-consuming. With advancements in remote sensing technology over the past two decades, studies on determining stand characteristics using remote sensing data have been continuously increasing.

*Methods* In the study, data from a total of 121 sample plots were used. For each sample plot, stand volume and basal area values were calculated. Additionally, band reflectance and vegetation index values obtained from Sentinel-2 satellite imagery were calculated for each sample plot. Relationships between stand volume, basal area, and the variables derived from satellite imagery were modeled using multiple regression analysis, and a total of 6 models were developed.

*Results* When the study findings were examined, the best model performance for stand volume was found in the model where band reflectance and vegetation indices were included as independent variables. For basal area, the best performance was achieved in the model where only vegetation indices were used as independent variables.

*Conclusions* Upon examining the performance of the developed models, the best coefficient of determination was found to be  $R^2_{adj}=0,569$ ;  $Sy.x=0,49989$  m<sup>3</sup>/ha) for stand volume and  $R^2_{adj}=0,420$ ;  $Sy.x=0,47304$  m<sup>2</sup>/ha for basal area.

**Key Words:** Stand parameters, remote sensing, modeling

*Bu makaleye atf:*

Demir, S., Günlü, A. 2024. Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak saf kavak meşcerelerinde meşcere hacmi ve göğüs yüzeyinin tahmin edilmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 10(2), 78-86.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

## 1. Giriş

Ormanlar, dünya yüzeyinin yaklaşık üçte birini kaplamakta ve küresel karbon depolamanın en önemli bileşeni olarak bilinmektedir (Dixon et al. 1994). Bununla birlikte ormanlar topluma sunmuş olduğu ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonlarla birlikte sürdürülebilir kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır (FAO 2010). Ormanlar çeşitli ekosistem hizmetleri sağlamaktadır. Biyolojik çeşitliliğin korunması ve iklim değişikliğinin azaltılması için önemli olmakla birlikte aynı zamanda çeşitli endüstriyel amaçlar için odun üretimi sağlamakta, dinlenme ve rekreasyon yeri olarak işlev görmektedirler. Ormanlardan bu çeşitli hizmetlerin sağlanması için planlı olarak yönetilmesi gerekmektedir. Ormanların etkili bir şekilde planlanmasının yapılabilmesi için ormanın mevcut durumuna ilişkin bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Ormanların planlanması ve yönetilmesinde, gerekli niceliksel ve niteliksel özellikler hakkında bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır (Lu et al. 2004, Zahriban et al. 2019). Tüm orman alanının ölçümü genellikle imkânsız olduğundan, genellikle, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı ve meşcere hacmi vb. gibi meşcere özelliklerini tahmin etmek için ormanlık alanlar üzerinde belirli aralık mesafeler ile örnekleme yapılarak envanter çalışması gerçekleştirilmektedir. Göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi gibi meşcere parametreleri orman amenajman planlarının hazırlanmasında ve sürdürülebilir orman yönetiminde önemli meşcere özellikleri olarak kabul edilmektedir (Zahriban et al. 2015).

Orman amenajman planlarının hazırlanmasında envanter aşamasında alınan örnek alanlardaki bireysel ağaçlarda ölçümler yapılarak örnek alanlara ilişkin hacim ve göğüs yüzeyi gibi meşcere özellikleri hesaplanmaktadır. Geleneksel olarak bu verilerin envanter aşamasında elde edilmesi oldukça maliyetli olmakla birlikte zaman almaktadır (Hyypa et al. 2000). Son çeyrek yüzyılda yapılan çalışmalarda uzaktan algılama verileri, geniş orman alanlarında meşcere özelliklerinin tahmin edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Hyypa et al. 2000, Özdemir and Karnieli 2011, Günlü et al. 2014, Günlü et al. 2021, Bulut et al. 2023).

Meşcere hacmi ve meşcere göğüs yüzeyi gibi meşcere özelliklerinin tahmin edilmesine yönelik yapılan çalışmalarda aktif (Long et al. 2020, Günlü and Ercanlı, 2020) ve pasif (Kayitakire et al. 2006, Ghahramany et al. 2012, Günlü et al. 2015, Bulut 2021, Demirel 2022, Aksoy 2023) olmak üzere birçok farklı uydu görüntüsü kullanılmaktadır. Farklı uydu görüntülerinden elde değişkenler ile meşcere hacmi, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere ağaç sayısı, meşcere orta çapı, topraküstü biyokütle, topraküstü karbon gibi meşcere özelliklerinin tahmin edilmesinde hem parametrik hem de parametrik olmayan modelleme teknikleri kullanılmaktadır (Zhu and Liu, 2015). Konu ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; meşcere özelliklerinin tahmin edilmesinde genellikle regresyon analizi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Gama et al. 2010, Günlü et al. 2014, Sakıcı and Günlü, 2018, Günlü et al. 2021). Bununla birlikte, son yıllarda meşcere özelliklerinin tahmin edilmesinde parametrik olmayan yapay sinir ağları ve derin öğrenme gibi modelleme teknikleri de kullanılmaktadır (Günlü and Ercanlı, 2020, Bulut et al. 2023, Aksoy, 2024).

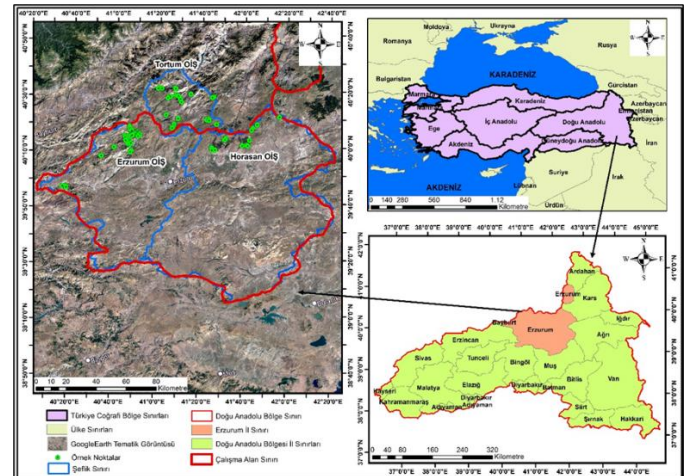
Bu çalışmada, Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Erzurum Orman İşletme Müdürlüğü (OİM)'ne bağlı Erzurum, Horasan ve Tortum Orman İşletme Şeflik (OİŞ)'lerinde 2021

yılında amenajman planlarının yenilenmesi aşamasında gerçekleştirilen envanter çalışması kapsamında doğal saf kavak meşcerelerinden alınan 121 adet örnek alan verilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışmada; her örnek alan için elde edilen hektardaki meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi ile Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi için geliştirilen modellerde: (i) bant reflektans değerleri, (ii) vejetasyon indisleri ve (iii) bant reflektans ile vejetasyon indisleri birlikte bağımsız değişken olarak yer almıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanları Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Erzurum Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Erzurum, Horasan ve Tortum Orman İşletme Şeflikleri (OİŞ) sınırlarında yer alan saf kavak meşcerelerinden oluşmaktadır. Çalışma alanları genel olarak 39° 50' 00"- 40° 50' 00" kuzey enlemleriyle, 40° 20' 00"- 42° 20' 00" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Erzurum OİŞ'nin yükseltisi 1500 m ile 3176 m arasında, Horasan OİŞ'nin yükseltisi 1505 m ile 3193 m ve Tortum OİŞ'nin ise yükseltisi 1200 m ile 3239 m arasında değişmektedir. Erzurum, Horasan ve Tortum OİŞ'de yıllık ortalama yağış 406,1 mm ve ortalama sıcaklık 5,6°C'dir (Anonim 2022). Çalışma alanının lokasyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumsal haritası

### 2.2 Materyal

Bu çalışmada, Erzurum, Horasan ve Tortum Orman İşletme Şefliklerinin meşcere tipleri haritaları, 09.09.2021, 10.09.2021 ve 11.9.2021 tarihli Sentinel-2 uydu görüntüleri ile orman amenajman planlarının yenilenmesi aşamasında envanter çalışmalarında saf kavak meşcerelerinden farklı gelişim çağı, kapalılık ve bonitet sınıflarından alınan 121 adet örnek alanla ilişkin envanter karnesi verileri materyal olarak kullanılmıştır.

### 2.3 Yöntem

#### 2.3.1 Envanter verilerine ilişkin değerlendirmeler

2021 yılında Erzurum, Horasan ve Tortum OİŞ'lerinin orman amenajman planlarının yenilenmesi çalışmalarında

alınan envanter karne verileri içerisinde saf kavak meşcerelerine ait 121 adet örnek alan verisi Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Her örnek alan için envanter karne verisi içerisinde yer alan ağaçların göğüs çapı (d1.3) verileri kullanılarak her bir ağaç için meşcere hacmi (m<sup>3</sup>) ve göğüs yüzeyi (m<sup>2</sup>) hesaplanmıştır. Her bir ağacın dikili gövde hacminin hesaplanmasında, Bayburtlu (2007) tarafından saf kavak meşcereleri için geliştirilen tek girişli ağaç hacim denklemi kullanılmıştır. Örnek alandaki ağaçların dikili gövde hacimleri toplanarak, her bir örnek alanın toplam hacmi hesaplanmıştır. Örnek alan büyüklüğü (400, 600 ve 800 m<sup>2</sup>) dikkate alınarak örnek alan için hesaplanan hacim değerleri kullanılarak hektardaki hacim miktarları hesaplanmıştır.

$$\text{LogV} = -3.483 + 1.0931 \times \text{LogD} + 0.969 \times (\text{LogD})^2 - 0.135 \times (\text{LogD})^4 \quad (1)$$

Denklemin; R<sup>2</sup>=0,98, ortalama mutlak hata yüzdesi %13,2 ve toplam hata yüzdesi ise %1,99'dur. V (m<sup>3</sup>): bir ağacın dikili gövde hacmi, D: örnek alan içindeki her bir ağacın göğüs yüksekliğindeki çapı (cm)

Örnek alanlardaki her bir ağacın göğüs yüzeyi Denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır. Örnek alandaki ağaçların göğüs

yüzeyleri toplanarak, her bir örnek alanın toplam göğüs yüzeyi hesaplanmıştır. Örnek alan büyüklüğü (400, 600 ve 800 m<sup>2</sup>) dikkate alınarak örnek alan için hesaplanan göğüs yüzeyi değerleri kullanılarak hektardaki göğüs yüzeyi miktarları hesaplanmıştır.

$$GY = \frac{\pi}{4} d_{1.3}^2 \quad (2)$$

GY (m<sup>2</sup>): bir ağacın göğüs yüzeyi, d1.3= örnek alan içindeki her bir ağacın göğüs yüksekliğindeki çapı(cm)

### 2.3.2 Sentinel-2 uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler

Sentinel-2 uydu görüntüsü <https://apps.sentinel-hub.com/> web adresinden ücretsiz olarak indirilmiştir. Sentinel-2 görüntüsüne ait ve konumsal çözünürlüğü 10 m olan Bant 2, Bant 3, Bant 4 ve Bant 8, konumsal çözünürlüğü 20 m olan Bant 5 (B5), Bant 6 (B6), Bant 7 (B7), Bant 8A (B8A), Bant 11 (B11) ve Bant 12 (B12) kullanılmıştır. Sentinel-2 görüntüsüne ilişkin bazı bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler

	Bantlar	Dalga boyu (nm)	Konumsal çözünürlük(m)
Sentinel-2	B2	458 – 523	10
	B3	543 – 578	10
	B4	650 – 680	10
	B5	698 – 713	20
	B6	733 – 748	20
	B7	773 – 793	20
	B8	785 – 900	10
	B8A	855 – 875	20
	B11	1565 – 1655	20
	B12	2100 – 2280	20

### 2.3.3 Sentinel-2 uydu görüntüsünden bant reflektans değerlerinin hesaplanması

Sentinel-2 uydu görüntüsü analize hazır hale getirilmek için bazı ön işlemlere (atmosferik düzeltme) tabi tutulmuştur. Sentinel-2 uydu görüntüsü QGIS Desktop 3.8.1 programı kullanılarak kalibre edilmiş ve reflektans görüntüleri elde edilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait bantlar üzerine örnek alanlar atılarak her bir örnek alan için bantlara ilişkin reflektans değerleri hesaplanmıştır. Örnek alanların reflektans değerleri örnek alanın büyüklüğü dikkate alınarak atılan buffer zon (400 m<sup>2</sup> için 11,28 m, 600 m<sup>2</sup> için 13,82 ve 800 m<sup>2</sup> için 15,96 m) içerisine düşen piksellerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Bu işlem ArcGIS 10.6.1 programı ile yapılmıştır.

### 2.3.4 Sentinel-2 uydu görüntüsünden vejetasyon indislerine ilişkin değerlerin hesaplanması

Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntüsünün her bir bant için hesaplanan bantlara ilişkin reflektans değerleri dikkate alınarak örnek alanlara ilişkin Çizelge 2'deki vejetasyon indisleri hesaplanmıştır.

### 2.3.5 İstatistiksel analiz

Örnek alanlara ilişkin göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi değerleri ile Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Meşcere hacmi ve göğüs yüzeyini, Sentinel-2 görüntüsünden elde edilen değişkenlere göre tahmin eden çoğul regresyon model yapısı Denklem (3) yer almaktadır.

$$\text{Meşcere hacmi} / \text{Göğüs Yüzeyi} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3)$$

Denklemden;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  denklem parametrelerini,  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  Sentinel-2 uydu görüntüsü için her örnek alan için elde edilen bant reflektans ile vejetasyon indis değerlerini ve  $\varepsilon$  ise model hatasını ifade etmektedir.

Modellerin geliştirilmesinde SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır (SPSS 27.0 Inc. 2007). Çalışmada 121 adet örnek alan verisi kullanılmıştır. Bu veriler rastgele ikiye ayrılmıştır. Örnek alan verisinin %75'i (n=91) modellerin geliştirilmesinde ve %25'i (n=30) ise modellerin test edilmesinde kullanılmıştır. Sentinel-2 uydu görüntüsünden elde edilen verilere bağlı olan farklı bağımsız değişkenlerden, %95 güvenle anlamlı değişkenlerin belirlenmesinde, Aşamalı (Stepwise) değişken seçimi yöntemi kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan vejetasyon indisleri

Vejetasyon İndisi	Formül	Kaynak
MSI	B11/B8	Hunt and Rock (1989)
NBR	(B8-B12) / (B8+B12)	Key and Benson (2006)
GNDVI	(B8-B3) / (B8+B3)	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
EVI	2.5x(B8-B4) / (B8+6.0x B4-7.5x B2)+1.0)	Liu and Huete (1995)
CCCI	(B8-B5)/(B8+B5)/(B8-B4)/(B8+B4)	El-Shikha <i>et al.</i> (2008)
GEMI	(0,3125-B4)/(1-B4)	Pinty and Verstraete (1992)
GOSAVI	(B8-B3)/(B8+B3+0,16)	Rondeaux <i>et al.</i> (1996)
MCARI	(B5-B4)-0,2x(B5-B3) x B5/B4	Daughtry <i>et al.</i> (2000)
PVR	(B3-B4)/(B3+B4)	Metternicht (2003)
SARVI2	2,5 x(B8-B4)/(1+B8+6B4-7,5x B2)	Huete <i>et al.</i> (1997)
SARVI	(1,0+0,487)x(B8-0,8723)/(B8-(0,8723)+L)	Kaufman and Tanre (1992)
GARI	(B8-(B3-(B2-B4)))/(B8-(B3+(B2-B4)))	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
WDVI	B8-0,46xB4	Clevers (1989)
GVMi	((B8+0,1)-(B12+0,02))/((B8+0,1)+(12+0,02))	Ceccato <i>et al.</i> (2002)
GRVI	(TM2-TM3)/(TM2+TM3)	Tucker (1979)
SCI	(B11-B8)/(B11+B8)	Zarco-Tejada <i>et al.</i> (2001)
ARVI2	-0,18+1,17x(B8-B4)/(B8+B4)	Kaufman and Tanre (1992)
LCI	(B8-B5)/(B8+B4)	Thenkabail <i>et al.</i> (1999)

Meşcere hacmi ve göğüs yüzeyinin Sentinel-2 uydu görüntüsünden elde edilen değişkenlerle birlikte tahmin edilmesinde istatistiksel olarak anlamlı model seçenekleri belirlenmiştir. Model başarılarının değerlendirilmesinde düzeltilmiş  $R^2$  ( $R_{düz}^2$ ) Denklem (4) ve standart hata ( $Sy.x$ ) ölçütleri Denklem (5) dikkate alınmıştır. Bu ölçütlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir.

Model Belirtme Katsayısı:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_g - y_t)^2}{\sum_{i=1}^n (y_g - y_{og})^2} \quad (4)$$

Tahminin Standart Hatası:

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (V/GY_i - V/GY_t)^2}{N-p}} \quad (5)$$

İlgili formüllerde;  $y_g$ ; gözlem,  $y_t$ ; tahmin,  $y_{og}$ ; ortalama gözlem,  $V/GY = i$ . gözlem meşcere hacmi/göğüs yüzeyi,  $V/GY_t = i$ . tahmin meşcere hacmi/göğüs yüzeyi,  $V$ =meşcere hacmi,  $GY$ =göğüs yüzeyi,  $N$ =gözlem sayısı ve  $p$ =parametre sayısı

Bu çalışmada geliştirilen modellerden, düzeltilmiş  $R^2$  ( $R_{düz}^2$ ) ve standart hata ( $Sy.x$ ) ölçütlerine göre en başarılı model belirlendikten sonra, bu modelin çalışma alanındaki meşcerelere uygunluğunun denetimi, toplam örnek alan verisinin %25'ni oluşturan 30 örnek alan yardımıyla yapılmıştır. Seçilen en iyi modelin denetiminde kullanılan örnek alanların (30 adet) arazide ölçülen meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi ile geliştirilen modellerle tahmin edilen meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi değerleri İki Eş Arasındaki Farkın Önemlilik Testi (Paired t test) kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır (Batu 1995, Kalıpsız 1988). Elde edilen meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi değerleri arasında iki farklı yöntemle yapılan karşılaştırmalardan, eğer ilkinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoksa ( $p>0,05$ ), modelin çalışma alanı için geçerli olduğu, ikinci durumda ise meşcere hacmi ve göğüs yüzeyi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark varsa ( $p<0,05$ ), modelin geçerli olmadığı sonucuna varılabilir.

### 3. Bulgular

Her bir örnek alan için hesaplanan meşcere hacmi ve meşcere göğüs yüzeyi değerleri ile Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Toplam 6 adet regresyon modeli geliştirilmiştir. Bu modeller meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi için M1: Sentinel-2 bant reflektans, M2: Sentinel-2 vejetasyon indisleri ve M3: bant reflektans ve vejetasyon indisleri şeklindedir. Çoğul regresyon modellerine ilişkin bilgiler Çizelge 3-Çizelge 8'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Göğüs yüzeyini Sentinel-2 bant reflektans değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsavıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	2,519	0,261	9,666	0,001
B5	-31,426	5,834	-5,387	0,001
B8	5,415	1,404	3,858	0,001
B12	10,896	3,505	3,109	0,003
$R_{düz}^2=0.342$ $Sy.x=0.56861$				

Çizelge 3 incelendiğinde Sentinel-2 bant reflektans değişkenlerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,342$  olarak bulunmuştur.

Çizelge 4 incelendiğinde Sentinel-2 vejetasyon indis değişkenlerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,420$  olarak bulunmuştur. Bant reflektans değerlerine ilişkin elde edilen model belirtme katsayısı ile karşılaştırıldığında, vejetasyon indislerinin yer aldığı modelde daha başarılı sonuç elde edilmiştir.

**Çizelge 4.** Göğüs yüzeyini Sentinel-2 vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	P
GNDVI	-33,858	6,408	-5,284	0,000
EVI	-3,057	1,526	-2,003	0,009
CCCI	1,727	0,890	1,939	0,006
CCCI	3,378	0,883	3,825	0,000
GEMI	33,214	6,314	5,260	0,000
GVMİ	-2,112	0,990	-2,133	0,036
SARVI	0,013	0,004	3,088	0,003

$$R_{düz}^2=0,420 \text{ Sy, } x=0,47304$$

**Çizelge 5.** Göğüs yüzeyini Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	P
	2,608	0,297	8,773	0,000
B5	-23,712	4,618	-5,135	0,000
SARVI	0,011	0,003	3,682	0,000
GOSAVI	4,462	1,442	3,095	0,003
B12	7,210	3,364	2,143	0,035

$$R_{düz}^2=0,392 \text{ Sy, } x=0,53994$$

Çizelge 5 incelendiğinde Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indislerinin yer aldığı modelde, model belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,392$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 6.** Meşçere hacmini Sentinel-2 bant reflektans değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	P
	4,065	0,308	13,179	0,000
B3	12,206	3,860	3,163	0,002
B5	-42,669	7,148	-5,970	0,000
B8A	5,761	1,536	3,750	0,000
B12	11,439	3,927	2,913	0,005

$$R_{düz}^2=0,385 \text{ Sy, } x=0,56777$$

Çizelge 6 incelendiğinde Sentinel-2 bant reflektans değişkelerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,385$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 7.** Meşçere hacmini Sentinel-2 vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	P
	1,617	0,940	1,721	0,045
MSI	1,301	0,631	2,062	0,043
CCCI	4,222	0,964	4,379	0,000
GARI	-2,769	0,511	-5,424	0,000
SARVI2	24,228	4,262	5,685	0,000
WDVI	-39,308	6,236	-6,304	0,000

$$R_{düz}^2=0,405 \text{ Sy, } x=0,55822$$

Çizelge 7 incelendiğinde Sentinel-2 vejetasyon indislerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,405$  olarak bulunmuştur.

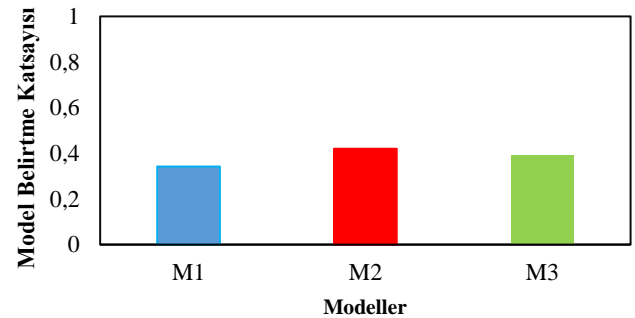
**Çizelge 8.** Meşçere hacmini Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	P
	68,026	6,844	5,918	0,000
B2	-106,127	7,312	-3,569	0,001
B5	-81,781	4,142	-3,700	0,000
B7	-22,019	6,173	-3,217	0,002
B8A	20,690	3,713	2,830	0,006
NBR	17,894	5,969	4,320	0,000
MCARI	-12,428	1,410	-2,013	0,048
CCCI	18,922	31,945	5,096	0,000
GVMİ	-36,716	11,955	-6,151	0,000
GARI	-7,467	3,126	-5,296	0,000
GOSAVI	-189,141	11,363	-5,921	0,000
LCI	-59,335	2,541	-4,963	0,000
PVR	-15,900	3,107	-5,086	0,000
SARVI2	62,959	9,199	5,541	0,000
SCI	-9,278	6,844	-3,652	0,001
WDRVI	14,572	7,312	4,690	0,000
ARVI2	44,084	4,142	4,792	0,000

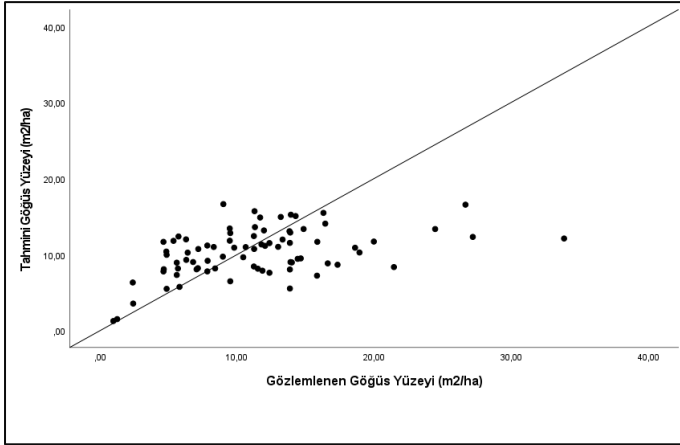
$$R_{düz}^2=0,569 \text{ Sy, } x=0,49989$$

Çizelge 8 incelendiğinde Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indislerinin birlikte yer aldığı modelde diğer bir ifadeyle bu çalışmada elde edilen en başarılı modelin, model belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0,569$  olarak bulunmuştur.

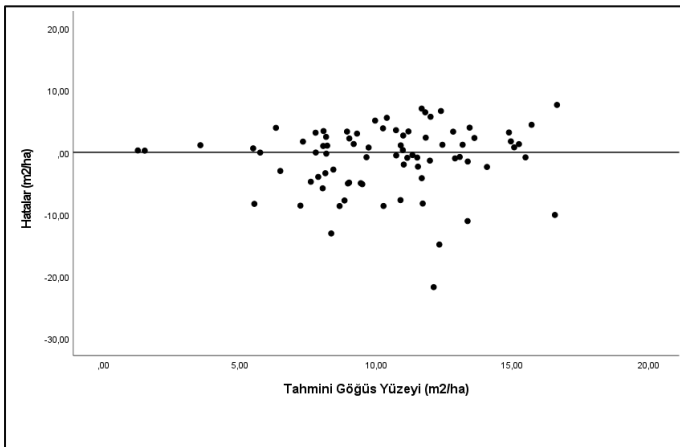
Çalışma kapsamında göğüs yüzeyi için 3 farklı regresyon modelinin başarı düzeylerini gösteren grafik Şekil 2'de verilmiştir. Çalışmada göğüs yüzeyi için geliştirilen 3 farklı regresyon modeli arasında en iyi tahmin sonucunu veren 2 (M2) nolu modeldir (Çizelge 4). Bu modele göre tahmin edilen göğüs yüzeyinin envanter karnelerinden hesaplanan göğüs yüzeyine göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir. En başarılı göğüs yüzeyi modeli ile elde edilen hataların, tahmin edilen göğüs yüzeyine göre değişimi Şekil 3'te verilmiştir.

**Şekil 2.** Regresyon modellerine göre model başarıları (göğüs yüzeyi için)

Göğüs yüzeyini en iyi tahmin eden modele (Çizelge 4) ilişkin hataların, tahmini göğüs yüzeyine göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



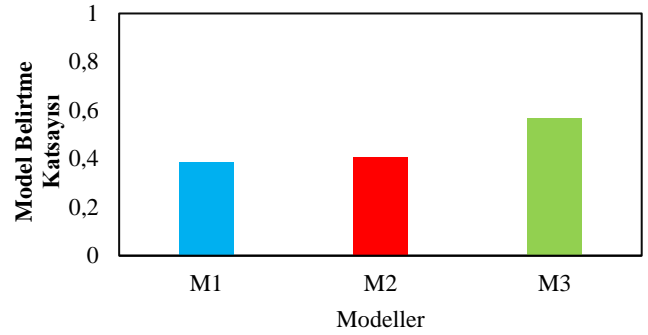
Şekil 3. En iyi regresyon modeline (Model 2) göre hesaplanan göğüs yüzeyi ile tahmin edilen göğüs yüzeyi ilişkisi



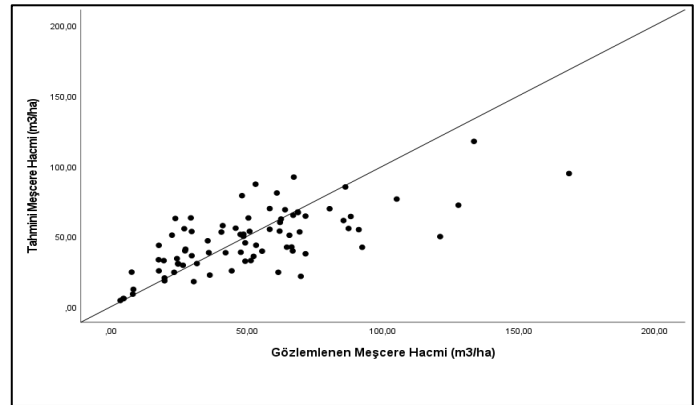
Şekil 4. En iyi regresyon modelini (Model 2) esas alan modelle elde edilen hatalar-tahmini göğüs yüzeyi ilişkisi

Göğüs yüzeyini tahmin etmek amacıyla geliştirilen modeller arasında en başarılı sonuçların elde edildiği göğüs yüzeyi modelinin, örneklenen topluma uygunluğu bağımsız bir veri setiyle test edilmiştir. Bu regresyon modeliyle elde edilen tahminler ile gözlem değerleri arasındaki farkı değerlendirmek için Eşleştirilmiş t testi (Paired t test) kullanılmıştır. Eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre (en başarılı regresyon modeli için  $t=1,285$ ,  $p=0,209$ ), tahmin edilen ve gözlenen göğüs yüzeyi değerleri arasında  $\alpha=0,05$  önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ( $p>0,05$ ). Başka bir deyişle, bu çalışma kapsamında geliştirilen en iyi regresyon modelinin, verilerin elde edildiği saf kavak meşcereleri için geçerli olduğu söylenebilir.

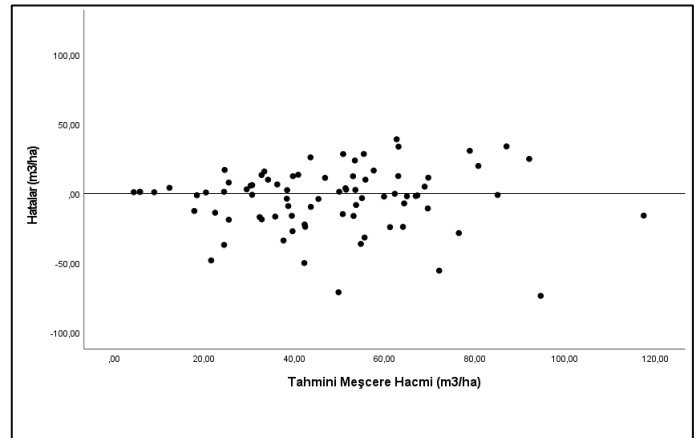
Çalışma kapsamında meşcere hacmi için geliştirilen 3 farklı regresyon modelinin başarı düzeylerine gösterir grafik Şekil 5'te verilmiştir. Meşcere hacmi için geliştirilen 3 farklı regresyon modeli arasında en iyi tahmin sonucunu veren model 3 (M3)'tür (Çizelge 8). Bu modele göre tahmin edilen meşcere hacminin envanter karnelerinden hesaplanan meşcere hacmine göre değişimi Şekil 6'da verilmiştir. En başarılı meşcere hacmi modeli ile elde edilen hataların, tahmin edilen meşcere hacmine göre değişimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Regresyon modellerine göre model başarıları (meşcere hacmi için)



Şekil 6. En iyi regresyon modeline (Model 3) göre hesaplanan meşcere hacmi ile tahmin edilen meşcere hacmi ilişkisi



Şekil 7. En iyi regresyon modelini (Model 3) esas alan modelle elde edilen hatalar-tahmini meşcere hacmi ilişkisi

Meşcere hacminin tahmin edilmesi amacıyla geliştirilen modeller arasında en başarılı sonuçları veren meşcere hacmi modelinin, örneklenen topluma istatistiksel olarak uygunluğu bağımsız bir veri setiyle test edilmiştir. Bu regresyon modeliyle elde edilen tahminler ve gözlem değerleri arasındaki farkın değerlendirilmesinde Eşleştirilmiş t testi (Paired t test) kullanılmıştır. Eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre (en başarılı regresyon modeli için  $t=0,394$ ,  $p=0,696$ ), tahmin edilen ve gözlenen meşcere hacmi değerleri arasında  $\alpha=0,05$  önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ( $p>0,05$ ). Başka bir deyişle, bu çalışma kapsamında geliştirilen en iyi regresyon modelinin, verilerin elde edildiği saf kavak meşcereleri için geçerli olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Erzurum OBM, Erzurum OİM'ne bağlı Erzurum, Horasan ve Tortum OİŞ'lerinde yayılış gösteren Saf kavak meşcerelerinden alınan örnek alanlardan hesaplanan meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi ile Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indis değişkenleri arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Meşcere göğüs yüzeyi için 3 ve meşcere hacmi için 3 olmak üzere toplam 6 adet çoğul regresyon modeli geliştirilmiştir. Elde edilen modellerin başarıları  $R^2_{düz} = 0,342$  ile  $R^2_{düz} = 0,569$  arasında değişmektedir. Meşcere göğüs yüzeyi için en başarılı model sonucu (M2) ( $R^2_{düz} = 0,420$ ), Sentinel-2 vejetasyon indis değişkenlerinin yer aldığı modelde elde edilmiştir. Meşcere hacmi için ise en başarılı model sonucu (M3) ( $R^2_{düz} = 0,569$ ) Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indislerinin birlikte yer aldığı modelde elde edilmiştir.

Konu ile ilgili literatürde yer alan bazı çalışmalar incelendiğinde; Sentinel-2 ile saf kavak meşcerelerinde meşcere parametrelerinin tahminine yönelik herhangi bir çalışma bulunamamıştır. Bununla birlikte özellikle de Türkiye'de Sentinel-2 ile meşcere parametrelerinin tahminine yönelik yapraklı ağaç türlerinde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Türkiye'de Sentinel-2 ile ibrelili bazı ağaç türlerinde meşcere parametrelerinin tahminine yönelik yapılmış çalışmalar vardır. Bulut (2021) tarafından saf karaçam meşcerelerinde yapılan çalışmada Sentinel-2 bant reflektans değerleri ve vejetasyon indisleri ile göğüs yüzeyi arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde reflektans değerleri için model belirtme katsayısı  $R^2=0,41$  ve vejetasyon indisleri için ise  $R^2=0,45$  düzeyinde bulunmuştur. Bizim çalışmamıza göre model belirtme katsayıları biraz daha yüksek bulunmuştur. Aksoy (2023) tarafından saf sarıçam meşcerelerinde yapılan çalışmada ise Sentinel-2 bant reflektans değerleri ve vejetasyon indisleri ile göğüs yüzeyi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde reflektans değerleri için model belirtme katsayısı  $R^2=0,45$  ve vejetasyon indisleri için ise  $R^2=0,42$  düzeyinde bulunmuştur. Bizim çalışmamızla karşılaştırıldığında vejetasyon indisleri için benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Demirel (2022) tarafından saf sarıçam meşcerelerinde yapılan çalışmada meşcere göğüs yüzeyi ile Sentinel-2 reflektans değerleri arasında ilişkiler modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde model belirtme katsayısı  $R^2=0,344$  bulunmuşken saf karaçam meşcerelerinde ise göğüs yüzeyi için herhangi bir model elde edilememiştir. Bununla birlikte çalışmada kullandığımız Sentinel-2 uydu görüntüsünün konumsal çözünürlüğüne yakın çözünürlükte olan uydu görüntüleri kullanılarak meşcere göğüs yüzeyinin tahmine yönelik çalışmalarda literatürde mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları incelendiğinde; Özgün (2014) Landsat TM uydu görüntüsü ile göğüs yüzeyini tahmin etmiştir. Bant parlaklık değerleri ile model belirtme katsayısı  $R^2=0,519$  bulunmuşken vejetasyon indisleri ile  $R^2=0,575$  düzeyinde bulunmuştur. Çil vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada göğüs yüzeyi ile Landsat 8 dijital parlaklık değerleri ile vejetasyon indisleri arasındaki ilişkiler incelenmiş ve çalışmada model belirtme katsayısı  $R^2=0,67$  olarak bulunmuştur.

Yukarıda da ifade edildiği gibi Türkiye'de yapraklı ağaç türlerinde Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak meşcere hacminin tahminine yönelik çalışmalara literatürde

rastlanılmamıştır. Buna karşın ibrelili ağaç türlerinde Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak meşcere hacminin tahminine yönelik bazı çalışmalar mevcuttur. Bulut (2021) tarafından saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirdiği çalışmada Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indisleri ile meşcere hacmi tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; bant reflektans değerleri ile  $R^2_{düz}=0,44$  ve vejetasyon indisleri ile  $R^2_{düz}=0,47$  olarak bulunmuştur. Demirel (2022) tarafından saf sarıçam ve saf karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilen çalışmada Sentinel-2 uydu görüntüsünden elde edilen değişkenler kullanılarak meşcere hacminin tahminine yönelik tahmin modelleri geliştirmiştir. Geliştirilen modellerin model belirtme katsayıları incelendiğinde; saf karaçam meşcerelerinde başarılı modeller elde edilememiştir ( $R^2_{düz}=0,095$  ve  $R^2_{düz}=0,083$ ). Buna karşın saf sarıçam meşcerelerinde ise saf karaçam meşcerelerinden elde edilen modellere göre daha başarılı model belirtme katsayıları ( $R^2_{düz}=0,10$  ve  $R^2_{düz}=0,123$ ) elde edilmiştir. Aksoy (2023) tarafından saf sarıçam meşcerelerinde gerçekleştirdiği çalışmada ise Sentinel-2 bant reflektans ve vejetasyon indisleri ile meşcere hacmi arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Bant reflektans ile  $R^2_{düz}=0,49$  ve vejetasyon indisleri ile  $R^2_{düz}=0,60$  olarak bulunmuştur. Bununla birlikte Sentinel-2 uydu görüntüsünün konumsal çözünürlüğüne yakın çözünürlükte olan uydu görüntüleri kullanılarak meşcere hacminin tahmine yönelik çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışmaların bazıları incelendiğinde; Bulut (2021) tarafından yapılan çalışmada Landsat 8 bant reflektans ve vejetasyon indisleri kullanılarak meşcere hacmi tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; bant reflektans değerleri ile  $R^2_{düz}=0,40$  ve vejetasyon indisleri ile  $R^2_{düz}=0,47$  olarak bulunmuştur. Bununla birlikte Aksoy (2023) tarafından yapılan Landsat 8 bant reflektans ve vejetasyon indisleri kullanılarak meşcere hacmi tahmin edilmiştir. Çalışmada, Landsat 8 reflektans değerleri ile  $R^2_{düz}=0,55$  ve vejetasyon indisleri ile  $R^2_{düz}=0,54$  olarak bulunmuştur. Günlü vd. (2013) tarafından saf kayın meşcerelerinde yaptıkları çalışmada Landsat 7 ETM+ bant parlaklık değerleri ile meşcere hacmi arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuç incelendiğinde  $R^2_{düz}=0,545$  düzeyinde model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Günlü *et al.* (2015) gerçekleştirilen çalışmada Spot-4 uydu görüntüsü ile meşcere hacmi tahmin edilmiştir. Meşcere hacmi için en başarılı model ( $R^2_{düz}=0,67$ ) uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indislerinin birlikte yer aldığı modelde elde edilmiştir.

#### 5. Öneriler

Özellikle çalışma kapsamında meşcere hacmi için elde edilen en başarılı model çalışma alanına yakın saf kavak meşcerelerinde kullanılabilir. Çalışmadan elde edilen modellerin başarıları farklı uydu görüntüleri ve farklı modelleme teknikleri kullanılarak artırılabilir. Bu nedenle konu ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda; Landsat, Alos-Palsar, İnsansız hava aracı, LİDAR vb. uydu görüntülerinden elde edilecek değişkenlerle birlikte derin öğrenme, yapay sinir ağları, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri, destek vektör makineleri vb. modelleme tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla tahmin gücü daha yüksek modeller geliştirilebilir.

## Teşekkür

Bu çalışma kapsamında, gerekli verilerin (envanter verileri ve orman amenajman planı) sağlanmasında katkı sağlayan Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'na çok teşekkür ederiz.

## Yazar Katkıları

Bu makale; Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ danışmanlığında Orman Yüksek Mühendisi Sultan DEMİR tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Sultan DEMİR: Verilerin temin edilmesi ve makalenin yazım aşamasında katkı sağlamıştır. Alkan GÜNLÜ: Uydu görüntülerinin temin edilmesi, analiz edilmesi ve makalenin yazımında katkı sağlamıştır.

## Kaynaklar

- Aksoy, H. 2023. Sinop Orman Bölge Müdürlüğü saf sarıçam meşcerelerinde farklı uzaktan algılama verileri kullanılarak bazı meşcere parametrelerinin modellenmesi. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 160 sayfa, Çankırı.
- Aksoy, H. 2024. Estimation stand volume, basal area and quadratic mean diameter using Landsat 8 OLI and Sentinel-2 satellite image with different machine learning techniques. *Transactions in GIS*, 0, 1-18.
- Anonim 2022. Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü, Erzurum Orman İşletme Müdürlüğü, Erzurum, Horasan ve Tortum orman işletme şeflikleri, fonksiyonel orman amenajman planı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi, Ankara.
- Ateşoğlu, A. 2009. Farklı Uydu görüntü verileri ile meşcere parametreleri arasındaki ilişkilerin araştırılması (Bartın-Mugada Örneği). Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, 134 sayfa, Bartın.
- Batu, F. 1995. Uygulamalı istatistik yöntemler, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Genel Yayın No:179, Fakülte Yayın No: 22, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Bayburtlu, Ş. 2007. Titrek kavak (*Populus tremula* L.) hacim ve bonitet endeks tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61 sayfa, Trabzon.
- Bulut, S. 2021. Ankara Orman Bölge Müdürlüğü saf karaçam meşcerelerinde net birincil üretim ve yaprak alan indeksinin uzaktan algılama teknikleri ile modellenmesi. Doktora Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 161 sayfa, Çankırı.
- Bulut, S., Günlü, A., Çakır, G. 2023. Modelling some stand parameters using Landsat 8 OLI and Sentinel-2 satellite images by machine learning techniques: a case study in Türkiye. *Geocarto International*, 38(1), 2158238.
- Bulut, S., Günlü, A., Keleş, S. 2016. Estimation of some stand parameters using Göktürk-2 satellite image. *Ist International Symposium of Forest Engineering and Technologies (FETEC 2016)*, Bursa.
- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S. 2002. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3), 188-197.
- Clevers, J. G. P. W. 1989. Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 29(1), 25-37.
- Çil, B. 2014. Bazı meşcere parametrelerinin farklı uydu görüntüleri yardımıyla tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 86 sayfa, Trabzon.
- Daughtry, C. S., Walthall, C. L., Kim, M. S., De Colstoun, E. B., McMurtrey III, J. E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote sensing of Environment*, 74(2), 229-239.
- Demirel, D. 2022. Saf karaçam ve sarıçam meşcerelerinde sentinel-1 ve sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi (Karadere Orman İşletme Müdürlüğü örneği). Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, 278 sayfa, Kastamonu.
- Dixon R K., Brown S., Houghton R A., Solomon A M. Trexler M C., Wisniewski J. 1994. Carbon Pools and flux global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.
- El-Shikha, D. M., Barnes, E. M., Clarke, T. R., Hunsaker, D. J., Haberland, J. A., Pinter Jr, P. J., Waller, P. M., Thompson, T. L. 2008. Remote sensing of cotton nitrogen status using the canopy chlorophyll content index (CCCI). *Transactions of the ASABE*, 51(1), 73-82.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010 – main Report. FAO Forestry Paper No. 163. Rome.
- Gama, F. F., Santos, J. R., Mura, J. C. 2010. Eucalyptus biomass and volume estimation using interferometric and polarimetric SAR data. *Remote Sensing*, 2(4), 939-956.
- Ghahramany, L., Fatehi, P., Ghazanfari, H. 2012. Estimation of basal area in west oak forest of Iran using remote sensing imagery. *International Journal of Geosciences*, 3, 398-403.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Merzlyak, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
- Günlü, A., Ercanlı, I., Başkent, E. Z., Çakır, G. 2014. Estimating aboveground biomass using Landsat TM imagery: A case study of Anatolian Crimean pine forests in Turkey. *Annals of Forest Research*, 57(2), 289-298.
- Günlü, A., Ercanlı, İ. 2020. Artificial neural network models by ALOS PALSAR data for aboveground stand carbon predictions of pure beech stands: a case study from northern of Turkey. *Geocarto International*, 35(1), 17-28.
- Günlü, A., Ercanlı, İ., Başkent, E.Z., Şenyurt, M. 2013. Qıckbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak Ayancık-Göldağ Kayın (*Fagus Orientalis* Lipsky) meşcerelerinde hacim tahmini. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 14, 24-30.
- Günlü, A., Ercanlı, İ., Keleş, S., Anlar, H.C. 2015. Modelling of stand volume and tree density using Spot-4 satellite image: a case Study in Devrez Planning unit. *Int. J. Global Warming*, 7(4), 454-465.
- Günlü, A., Ercanlı, İ., Sönmez, T., Başkent, E.Z. 2014. Prediction of some stand parameters using pan-sharpened Ikonos Satellite image. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 329-342.
- Günlü, A., Ercanlı, İ., Şenyurt, M., Keleş, S. 2021. Estimation of some stand parameters from textural features from WorldView-2 satellite image using the artificial neural



- network and multiple regression methods: a case study from Turkey. *Geocarto International*, 36(8), 918-935.
- Huete, A.R., Liu, H. Q., Batchily, K. V., Van Leeuwen, W. J. D. A. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote sensing of environment*, 59(3), 440-451.
- Hunt Jr, E.R., Rock, B. N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43-54.
- Hyyppä, J., Hyyppä, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S., Zhu, Y.H. 2000. Accuracy comparison of various remote sensing data sources in the retrieval of forest stand attributes. *For Ecol Manage.* 128(1-2), 109–120.
- Kalpırsız, A. 1984. *Dendrometri*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No:354, İstanbul, 407 s.
- Kaufman, Y. J., Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2), 261-270.
- Kayitakire, F., Hamel, C., Defourny, P. 2006. Retrieving forest structure variables based on image texture analysis and Ikonos-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 102,390–401.
- Key, C. H., Benson, N. C. 2006. Landscape assessment: ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. Editors: D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti, C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland & L. J. Gangi, FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Ogden: USDA Forest Service.
- Liu, H.Q., Huete, A.R. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33, 457-465.
- Long, J., Lin, H., Wang, G., Sun, H., Yan, E. 2020. Estimating the growing stem volume of the planted forest using the general linear model and time series quad-polarimetric SAR images. *Sensors*. 20(14), 3957.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., Moran, E. 2004. Relationships between forests stand parameters and Landsat TM spectral response in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology Management*, 198, 149-167.
- Metternicht, G. 2003. Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management. *International Journal of Remote Sensing*, 24(14), 2855-2877.
- Ozdemir, I., Karnieli A. 2011. Predicting forest structural parameters using the image texture derived fromWorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest. Israel. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(5),701–710.
- Özdemir, İ., Mert, A. 2007. Düzlerçamı kızılçam ormanında Qickbird uydu verileri kullanılarak gövde hacminin tahmini. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 107-118.
- Özgün, M. 2014. Landsat TM uydu görüntüsü yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi*, 80 sayfa, Çankırı.
- Özkal, M.K. 2017. Models of forest inventory for Istanbul forest using air borne Lidar and space borne imagery. PhD Thesis, Michigan Technological University.
- Pinty, B. And Verstraete, M. M. 1992. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101(1), 15-20.
- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95-107.
- SPSS Institute Inc., 2007. *SPSS Base 270 User's Guide*, 770 s.
- Thenkabail, P.S., Smith, R. B., De Pauw, E. 1999. *Hyperspectral vegetation indices for determining agricultural crop characteristics*. New Heaven: Yale University, Center for Earth Observation.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150.
- Zahriban Heasari, M., Fallah, A., Shataee, S., Kalbi, S., Persson, H. 2019. Estimating the forest stand volume and basal area using pleiades spectral and auxiliary data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 1131-1136.
- Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Noland, T. L., Mohammed, G. H., Sampson, P. H. 2001. Scaling-up and model inversion methods with narrowband optical indices for chlorophyll content estimation in closed forest canopies with hyperspectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(7), 1491-1507.
- Zhu, X., Liu, D. 2015. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat DVI time-series. *ISPRS J Photogram Remote Sensing*. 102, 222-231.