

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKTİF VE PASİF UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK SAF KARAÇAM  
MEŞCERELERİNDE TOPRAKÜSTÜ KARBONUN TAHMİN EDİLMESİ  
(ELEKÇAMI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ ÖRNEĞİ)

Erdal ŞAHAN

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI  
2024

Her hakkı saklıdır

## TEZ ONAYI

Erdal ŞAHAN tarafından hazırlanan “**Aktif ve Pasif Uydu Görüntüleri Kullanılarak Saf Karaçam Meşcerelerinde Topraküstü Karbonun Tahmin Edilmesi (Elekçanı Orman İşletme Şefliği Örneği)**” adlı tez çalışması 27/05/2024 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ

### Jüri Üyeleri :

**Başkan** : Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Üye** : Prof. Dr. Sedat KELEŞ  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı  
Çankırı Karatekin Üniversitesi

**Üye** : Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kastamonu Üniversitesi

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hamit ALYAR**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Aktif ve Pasif Uydu Görüntüleri Kullanılarak Saf Karaçam Meşcerelerinde Topraküstü Karbonun Tahmin Edilmesi (Elekçami Orman İşletme Şefliği Örneği)**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (27/05/2024).

**Erdal ŞAHAN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AKTİF VE PASİF UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK SAF KARAÇAM MEŞCERELERİNDE TOPRAKÜSTÜ KARBONUN TAHMİN EDİLMESİ (ELEKÇAMI ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ ÖRNEĞİ)

Erdal ŞAHAN

Çankırı Karatekin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ

Bu çalışma Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü, Elekçami Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren saf karaçam meşcerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında toplam 247 adet örnek alan verisi kullanılmıştır. Envanter verilerinden yararlanılarak her bir örnek alan için topraküstü karbon (TÜK) değerleri hesaplanmıştır. Her bir örnek alan için Landsat 5 TM bant yansıma ve vejetasyon indis, ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait HH ve HV polarizasyonlarından parlaklık ve geri yansıtım ile örnek alanlara ilişkin eğim, bakı ve yükselti değerleri hesaplanmıştır. TÜK değerleri ile yukarıda açıklanan değişkenler arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Toplam 14 adet model geliştirilmiştir. Geliştirilen model başarıları incelendiğinde, Landsat 5 TM vejetasyon indis, ALOS-PALSAR parlaklık ve geri yansıtım değişkenleri ile eğim, bakı ve yükselti değerlerinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelde belirtme katsayısı ( $R^2_{düz}=0.655$ ;  $Sy. x=0.18147$ ) elde edilmiştir.

**2024, 37 sayfa**

**ANAHTAR KELİMELER:** Landsat 5 TM uydu görüntüsü, ALOS-PALSAR uydu görüntüsü, Çoğul regresyon analizi

## ABSTRACT

Master of Science Thesis

### ESTIMATION OF ABOVEGROUND CARBON USING ACTIVE AND PASSIVE SATELLITE IMAGE IN PURE CRIMEAN PINE STANDS: A CASE STUDY IN ELEKÇAMI FOREST PLANNING UNIT

Erdal ŞAHAN

Çankırı Karatekin University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Forest Engineering

Advisor: Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ

This study was conducted in pure Crimean stands located within the boundaries of Sinop Regional Directorate of Forestry, Boyabat Forest Enterprise, Elekçami Forest Planning Unit. A total of 247 sample plot inventory data were utilized. Using inventory data, aboveground carbon values were calculated for each sample plot. Then, for each sample plot, band brightness and vegetation indices obtained from the Landsat 5 TM satellite image, polarization (HH and HV) brightness and backscattering obtained from the ALOS-PALSAR satellite image, as well as slope, aspect, and elevation values, were calculated. The relationships between aboveground carbon values and the variables mentioned above were modeled using multiple regression analysis. A total of 14 models were developed. When examining the success of the developed models, the highest model accuracy ( $R_{adj}^2=0.655; Sy. x=0.18147$ ) was achieved in the model that included vegetation indices from the Landsat 5 TM satellite image, brightness and backscattering values from the ALOS-PALSAR satellite image, along with slope, aspect, and elevation as independent variables.

**2024, 37 pages**

**Keywords:** Landsat 5 TM satellite image, ALOS-PALSAR satellite image, Multiple regression analysis

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Aktif ve Pasif Uydu Görüntüleri Kullanılarak Saf Karaçam Meşcerelerinde Topraküstü Karbonun Tahmin Edilmesi (Elekçamı Orman İşletme Şefliği Örneği)” adlı bu çalışma 2021-2024 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne “Yüksek Lisans Tezi” olarak sunulmuştur.

Bu çalışmanın her aşamasında beni yönlendirerek yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ’ye sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca değerli fikir ve görüşlerinden yararlandığım yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Sedat KELEŞ, Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI ve çalışmamdaki istatistik analizlerin yapımında yardımını esirgemeyen sayın Prof. Dr. İlker ERCANLI hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tez çalışması için gereken envanter verilerinin ve orman amenajman planına ulaşmamı sağlayan Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı’na çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen eşim Fatma ŞAHAN’a, oğullarım Kerem Efe ŞAHAN ve Emir Berke ŞAHAN’a teşekkürlerimi sunarım.

**Erdal ŞAHAN**

**Çankırı, Mayıs 2024**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	v
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
3. MATERYAL VE METOT .....	7
3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı .....	7
3.2. Yöntem.....	8
3.3.1 Envanter verilerine ilişkin değerlendirmeler.....	8
3.3.2 Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler .....	9
3.3.3 ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler.....	10
3.3.4 Örnek alanlara ilişkin topoğrafik verilerin hesaplanması.....	11
3.3.5 İstatistiksel analiz.....	11
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	14
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	29
KAYNAKLAR .....	31
ÖZGEÇMİŞ.....	37

## SİMGELER DİZİNİ

kg	Kilogram
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
mm	Milimetre
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
CO <sub>2</sub>	Karbondioksi



## KISALTMALAR DİZİNİ

BEF	Biyokütle genişletme faktörü
TÜK	Topraküstü karbon
ha	Hektar
RMSE	Karekök ortalama hata



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Çalışma alanının konumu .....	7
Şekil 4.1	Çoğul regresyon modellerine göre model başarıları .....	27
Şekil 4.2	En iyi regresyon modeline (Model 13) göre hesaplanan topraküstü karbon ile tahmin edilen topraküstü karbon ilişkisi.....	27
Şekil 4.3	En iyi regresyon modelini (Model 13) esas alan modelle elde edilen hatalar-tahmini topraküstü karbon ilişkisi .....	28



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1	Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler.....	9
Çizelge 3.2	Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler.....	10
Çizelge 3.3	ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler .....	10
Çizelge 4.1	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	14
Çizelge 4.2	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	15
Çizelge 4.3	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	16
Çizelge 4.4	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerleri ve topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	17
Çizelge 4.5	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değerleri göre tahmin eden en iyi model sonuçları.....	18
Çizelge 4.6	Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık, vejetasyon indis ve topoğrafik değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	19
Çizelge 4.7	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	20
Çizelge 4.8	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	21
Çizelge 4.9	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları.....	21
Çizelge 4.10	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları.....	22
Çizelge 4.11	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	23
Çizelge 4.12	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve Landsat 5 TM bant parlaklık ile topoğrafik değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları.....	24
Çizelge 4.13	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım, Landsat 5 TM vejetasyon indisleri ile topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	25
Çizelge 4.14	Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım, Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indisleri ile topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları .....	26

## 1. GİRİŞ

Dünya genelinde insan popülasyonunun sürekli bir şekilde artması, buna bağlı olarak sanayileşme ve şehirleşmenin gelişmesiyle birlikte doğal kaynaklara olan talep gün geçtikçe çeşitlenerek sürekli bir artış göstermiştir. Ortaya çıkan bu taleplerin tedarik edilmesi aşamasında orman ekosisteminin yapısının bozulması, biyolojik çeşitliliğin azalması, kirlilik, çölleşme ve iklim değişikliği gibi sorunlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Ortaya çıkan bu sorunların başında gelen küresel iklim değişikliği son yüzyılda insanoğlunun karşılaştığı en önemli problemlerden birisi olmuştur. Küresel iklim değişikliğinin sebebi olarak gösterilen küresel ısınma orman ekosistemlerinin tahrip edilmesi ile arazi kullanım sınıflarında meydana gelen değişikliklerle birlikte sanayileşmenin sonucunda atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarının artması şeklinde ifade edilmektedir. Bu bağlamda, fosil yakıtların ısınmada ve araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılması, tarım ve şehirleşme alanları için yeni alanların açılması bununla birlikte insanların yakacak odun ihtiyaçlarının karşılanması için orman ekosistemlerinin tahrip edilmesi neticesinde atmosferde CO<sub>2</sub> miktarı artmıştır (Sivrikaya ve Bozali 2012).

Orman ekosistemleri fotosentez yoluyla atmosferdeki karbon döngüsünün değişimini etkileyerek bünyesinde (hem toprakaltı hem de topraüstü) depoladıkları karbon miktarıyla küresel iklim değişikliğinde büyük bir rol oynamaktadır (Muukkonen and Heiskanen 2007, Mısır vd. 2012, Pachauri *et al.* 2014). Bu nedenle, orman ekosistemleri küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkisini azaltarak gerek bölgesel gerekse küresel ölçekte iklimin dengeli bir şekilde olmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Hashimoto *et al.* 2000).

2022 yılı itibariyle Türkiye'nin sahip olduğu ormanlık alan miktarı 23.245.000 ha olup bu alanın Türkiye yüzölçümüne oranı % 29.8 düzeyindedir. Bu ormanların sahip olduğu servet 1.736.402.000 m<sup>3</sup> ve artım miktarı ise yıllık 47.800.000 m<sup>3</sup>'tür. Bununla birlikte ormanların tutmuş olduğu karbon miktarı ise yaklaşık olarak 2.041.071.796 tondur (Anonim 2022). Orman ekosistemlerinin bünyelerinde tutmuş olduğu karbon miktarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi ve planlamaya dahil edilmesine yönelik çalışmalar son

yıllarda önemli olmaya başlamıştır (Asan vd. 2002, Keleş ve Başkent 2006, Sivrikaya vd. 2007, Sivrikaya ve Bozali 2012, Mısır vd. 2012, Değermenci ve Zengin 2016, Seki vd. 2017, Başkent 2022, Çelik ve Şahin 2023, Değermenci 2023).

Orman ekosisteminin depolamış olduğu karbon miktarının tespit edilebilmesi için öncelikle ormanlardaki biyokütlenin tespit edilmesi gerekmektedir. Biyokütle, orman ekosistemlerinin yapısında meydana gelen değişikliklerin değerlendirilmesi ve karbon tutma kapasitesinin belirlenmesi aşamasında kullanılan önemli bir özelliktir (Backéus *et al.* 2005). Orman ekosistemlerine ilişkin biyokütle miktarının belirlenmesinde farklı hesaplama yaklaşımları yer almaktadır. Bunlar, yersel ölçümler yapılarak ağaç türlerine ilişkin geliştirilen allometrik biyokütle denklemleri, ağaç hacmini dikkate alarak geliştirilen biyokütle genişletme faktörü (BEF) ve uzaktan algılama yaklaşımları şeklinde sıralanabilir (Asan 1995, Günlü *et al.* 2014, Durkaya *et al.* 2017, Yolasığmaz vd. 2016, Sakıcı *et al.* 2018, Varol vd. 2018, Günlü and Ercanlı 2020).

Topraküstü biyokütlenin (TÜB) ve buna bağlı olarak topraküstü karbon (TÜK) miktarının belirlenmesinde en güvenilir yöntemler yersel ölçümlerdir. Orman ekosistemlerinde yersel ölçümler yapılarak elde edilen allometrik biyokütle ve karbon denklemleri kullanılarak TÜB ve TÜK'nun doğru bir şekilde tahmin edilebilmektedir. Ancak bu yöntemin zaman alıcı, yoğun iş gücü gerektirmesi ve geniş ormanlık alanlarda uygulanabilmesi zordur (Lu 2005, Güverçin ve Günlü 2023). Buna karşın uzaktan algılama verileri ile geniş alanların izlenebilmesi, veri toplamanın daha kolay olması ve bu verilerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesine imkân vermesi nedeniyle son zamanlarda gerek TÜB'nin ve gerekse TÜK'nun tahmin edilmesinde uzaktan algılama verilerinden (bant reflektans, vejetasyon indisleri, tekstür özellikleri, geri yansıtım değerleri vb.) yararlanılmaktadır (Günlü *et al.* 2014, Keleş *et al.* 2021, Dewantoro and Jatmiko 2021, Bulut *et al.* 2022, Sivrikaya and Demirel 2022, Turgut and Günlü 2022, Güverçin ve Günlü 2023, Bulut 2023, Demirel *et al.* 2023).

Bu çalışmada, Elekçamı Orman İşletme Şefliğinde 2011 yılında amenajman planlarının yenilenmesi aşamasında saf karaçam meşcerelerinden alınan 247 adet örnek alan için elde edilen envanter verilerden yararlanılmıştır. Bu çalışmada; (i) her örnek alan için elde

edilen hektardaki toplam TK değerleri ile Landsat 5 TM bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler, (ii) her örnek alan için elde edilen TK değerleri ile ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait HH ve HV polarizasyona ilişkin parlaklık ve geri yansıtım değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler, (iii) her örnek alan için elde edilen TK değerleri ile Landsat 5 TM ve ALOS-PALSAR uydu görüntülerinden elde edilen değişkenler (birlikte değerlendirilmiş) arasındaki ilişkiler ve (iv) her örnek alan için elde edilen TK değerleri ile Landsat 5 TM ALOS-PALSAR uydu görüntülerinden elde edilen değişkenler ile topoğrafik veriler (birlikte değerlendirilmiş) arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu tez çalışması ile ilgili literatürde yapılmış benzer bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Demirel *et al.* (2023) tarafından saf sedir (*Cedrus libani* A. Rich.) meşcerlerinde yapılan çalışmada Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak topraküstü karbon (TÜK) miktarı tahmin edilmiştir. Çalışmada TÜK değerleri için Sentinel-2'den elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri ayrı ayrı modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bant reflektans değerleri ile  $R^2=0.456$  ve vejetasyon indisleri ile  $R^2=0.488$  düzeyinde ilişkiler bulunmuştur.

Sivrikaya and Demirel (2022) tarafından saf kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde yapılan çalışmada Landsat 9 uydu görüntüsü verileri ile TÜK arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yersel ölçümlerden elde edilen TÜK değerleri ile Landsat 9 uydu görüntüsünden elde edilen NDVI değerleri arasındaki ilişkiler korelasyon analiz ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde TÜK ile NDVI değerleri arasında  $r=0.779$  düzeyinde ilişki bulunmuştur.

Turgut and Günlü (2022) tarafından saf karaçam (*Pinus nigra* Arnold) meşcerelerinde gerçekleştirilen çalışmada Landsat 8 OLI uydusu kullanılarak topraküstü biyokütle (TÜB) modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bant reflektans değerleri ile 0.445, vejetasyon indisleri ile 0.387 ve tekstür özellikleri ile 0.552 düzeyinde model başarıları elde edilmiştir.

Keleş *et al.* (2021) tarafından saf sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde yapılan çalışmada Sentinel-2 ve Sentinel-1'den elde edilen değişkenler ile TÜK değerleri arasındaki ilişkiler farklı modelleme teknikleri (çoğul regresyon analizi, derin öğrenme ve destek vektör makinaları) ile modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenler birlikte değerlendirildiğinde model başarılarının arttığı görülmüştür. En iyi model başarıları

sırasıyla destek vektör makinaları ile (FI=0.877), derin öğrenme ile (FI=0.857) ve çoğul regresyon ile (FI=0.748) elde edilmiştir.

Günlü *et al.* (2021) tarafından saf karaçam (*Pinus nigra* Arnold) meşcerlerinde yapılan çalışmada WorldView-2 ile TÜB arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde çoğul regresyon analizi ile  $R^2=0.34$  ve yapay sinir ağları ile  $R^2=0.57$  düzeyinde ilişkiler bulunmuştur.

Günlü and Ercanlı (2020) tarafından saf kayın (*Fagus orientalis*) meşcerelerinde yapılan çalışmada ALOS-PALSAR uydu görüntüsünün farklı polarizasyonlarına (HH ve HV) ilişkin elde edilen değişkenlerle birlikte TÜK değerleri arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde yapay sinir ağları ile HH polarizasyonunda 0.52 ve HV polarizasyonunda ise 0.44; çoğul regresyon analizi ile HH polarizasyonunda 0.38 ve HV polarizasyonunda ise 0.36 düzeyinde ilişkiler bulunmuştur.

Bolat (2019) tarafından saf karaçam (*Pinus nigra* Arnold) meşcerlerinde yapılan çalışmada Göktürk-2 uydu görüntüsü ile TÜK tahmin edilmiştir. Vejetasyon indisleri ve bant bant parlaklık değişkenlerinin birlikte yer aldığı modelde, model belirtme katsayısı  $R^2=0.52$  olarak bulunmuştur.

Avtar *et al.* (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ALOS-PALSAR'dan elde edilen değişkenler ile TÜB arasındaki ilişkiler tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde HV geri yansıtım değrleri ile  $R^2=0.66$  ve HH/HV ile  $R^2=0.54$  düzeyinde model başarıları bulunmuştur.

Zhao *et al.* (2016) tarafından yapılan çalışmada Landsat TM ve ALOS-PALSAR uydu görüntülerinden elde edilen değişkenler ile TÜB arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Çalışmada çam plantasyon alanlarında sadece Landsat TM için 0.36, sadece ALOS-PALSAR için 0.31 ve her iki görüntüden hesaplanan değişkenlerin birlikte değerlendirildiği modelde ise model belirtme katsayısı 0.43 bulunmuştur.

Günlü *et al.* (2014) tarafından saf karaçam (*Pinus nigra* Arnold) meşcerlerinde yapılan çalışmada Landsat TM'den elde edilen değişkenler ile TÜB arasındaki modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, bant reflektans değerleri ile 0.465 ve vejetasyon indisleri ile ise 0.606 düzeyinde model başarıları bulunmuştur.

Hamdan *et al.* (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada SPOT-5 ve ALOS-PALSAR görüntülerinden elde edilen değişkenler ile TÜB arasındaki ilişkiler modellenmiş ve en iyi model belirtme katsayısı ( $R^2=0.803$ ), iki görüntüden elde edilen değişkenlerin birlikte değerlendirildiği modelle elde etmişlerdir.

Gaspari *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada Landsat 7 ETM+ ile TÜB modellenmiş ve vejetasyon indisleri ile daha başarılı model belirtme katsayısı elde edilmiştir.

Maynard *et al.* (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Landsat 7 ETM+ ile TÜB modellenmiş ve bant reflektans değerleri ile daha yüksek model belirtme katsayısı elde edilmiştir.

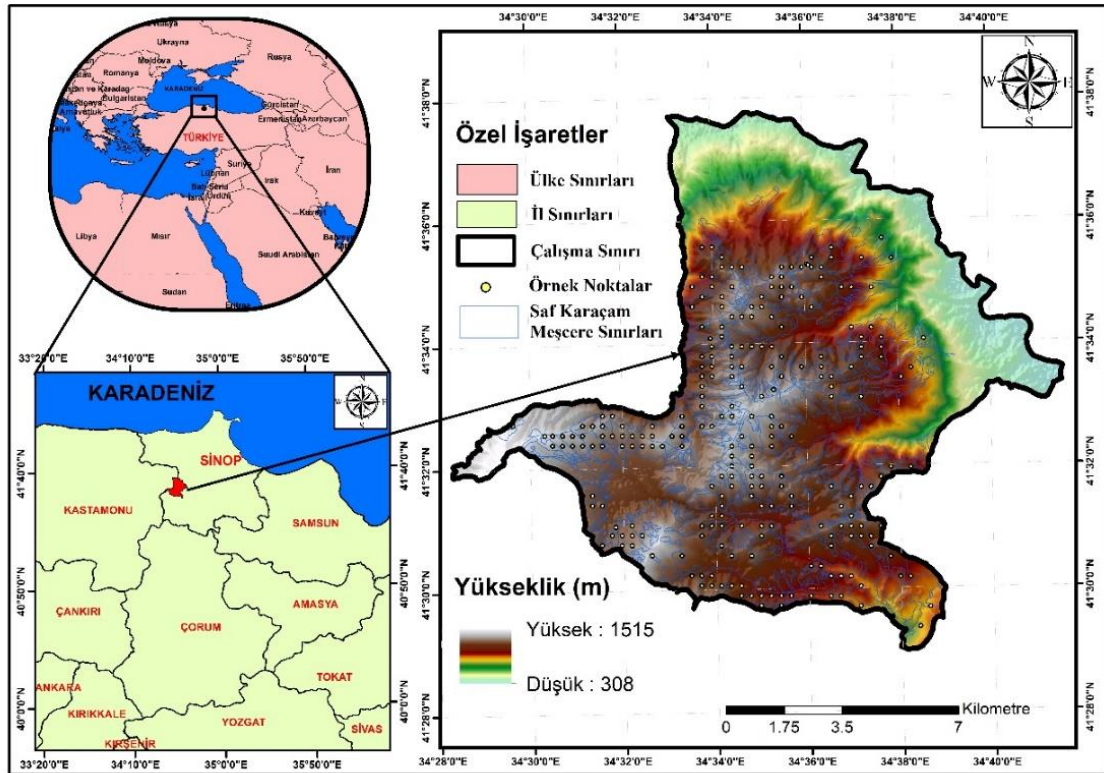
Lu (2005) Landsat TM uydu görüntüsünden elde edilen değişkenler ile TÜB çoğul regresyon analizi ile modellenmiş, en iyi model belirtme katsayısı bant reflektans değişkenleri ile elde edilmiştir.

Lu *et al.* (2002) yaptıkları çalışmada Landsat TM bant reflektans değerleri ile TÜB arasındaki ilişkiler modellemiş ve 0.88 düzeyinde model belirtme katsayısı bulmuştur.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

Elekçamı Orman İşletme Şefliği Sinop Orman Bölge Müdürlüğü, Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarında yer almaktadır. Elekçamı Şefliği 41° 43' 01" - 41° 28' 59" kuzey enlemleriyle, 34° 41' 34" - 34° 28' 18" doğu boylamları arasında yer almaktadır. Denizden ortalama yüksekliği 920 m olup en yüksek noktası 1538 m olan Dikmen tepe iken en alçak noktası 300 m olan Gökırmak havzasıdır. Çalışma alanının toplam alanı 13301.4 ha olup bu alanın 10806.7 ha ormanlık alan ve geriye kalan 2494.7 ha alan ise ormansız alanlardan oluşmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklığı 13.4°C ve ortalama yağıışı ise 677.3 mm'dir. Karaçam, kızılçam, sarıçam, kayın, meşe, gürgen ile diğer yaprak türler (akçaağaç, söğüt, karaağaç, kayacık ve kavak) çalışma alanında yer almaktadır (Anonim 2012). Çalışma alanının konumu Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu

### 3.2 Materyal

Bu çalışmada, Elekçamı Orman İşletme Şefliğinin meşcere tipleri haritası, 15.09.2011 tarihli Landsat 5 TM ve 30.07.2011 tarihli ALOS-PALSAR uydu görüntüleri ile orman amenajman planının yenilenmesi aşamasında envanter çalışmalarında saf karaçam meşcerelerinden alınan 247 örnek alan envanter karnesi verileri materyal olarak kullanılmıştır.

### 3.3 Yöntem

#### 3.3.1 Envanter verilerine ilişkin değerlendirmeler

2011 yılında Elekçamı Orman İşletme Şefliğinin amenajman planının yenilenmesi aşamasında envanter çalışmalarında alınan envanter karne verileri içerisinde saf karaçam meşcerelerine ait 247 adet örnek alan verileri Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'ndan temin edilmiştir. Her örnek alan için envanter karne verisi içerisinde yer alan ağaçların göğüs çapı ( $d_{1.3}$ ) verileri kullanılarak her bir ağaç için topraküstü karbon (TÜK) miktarı (kg) hesaplanmıştır. Her bir ağacın TÜK miktarının hesaplanmasında Sakıcı *et al.* (2018) tarafından geliştirilen ve aşağıda yer alan Denklem (3.1) kullanılmıştır. Örnek alandaki ağaçların TÜK miktarları toplanarak, her bir örnek alanın toplam TÜK miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra örnek alanın büyüklüğü (400, 600 ve 800 m<sup>2</sup>) dikkate alınarak her örnek alanın hektardaki TÜK miktarı hesaplanmıştır.

$$TÜK=0.054*dbh^{2.362} \quad (3.1)$$

Denklemin;  $R^2=0.972$  ve  $RMSE=40.772$  kg/ha

TÜK (kg): Topraküstü karbon

dbh: örnek alan içindeki her bir ağacın göğüs yüksekliğindeki çapı(cm)

### 3.3.2 Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler

Landsat 5 TM uydu görüntüsü <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden ücretsiz olarak indirilmiştir. Landsat uydu görüntüsüne ait ve konumsal çözünürlüğü 30 m olan TM1, TM2, TM3, TM 4, TM 5 ve TM 7 bantları kullanılmıştır. Landsat 5 TM ait bazı bilgiler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler

	Bantlar	Dalga boyu (nm)	Konumsal çözünürlük(m)
<b>Landsat 5 TM</b>	TM 1(Blue)	0.45-0.52	30
	TM 2(Green)	0.52-0.60	30
	TM 3 (Red)	0.63-0.69	30
	TM 4 (NIR)	0.76-0.90	30
	TM 5 (SWIR 1)	1.55-1.75	30
	TM 7 (SWIR 2)	2.08-2.35	30

#### 3.3.2.1 Landsat 5 TM uydu görüntüsünden bant parlaklık değerlerinin hesaplanması

Landsat 5 TM analize hazır hale getirmek için bazı ön işlemlere (atmosferik ve geometrik düzeltme) tabi tutulmuştur. Hazır hale getirilen Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait bantlar üzerine örnek alanlar atılarak her örnek alan için bantlara ilişkin parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Örnek alanların bant parlaklık değerleri örnek alanın büyüklüğüne bağlı olarak 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 yazılım programı içerisinde yer alan ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Zonal, Zonal Statistic modülü ile yapılmıştır.

#### 3.3.2.2 Landsat 5 TM uydu görüntüsünden bant parlaklık değerlerinin hesaplanması

Her bir bant için hesaplanan bantlara ilişkin parlaklık değerleri kullanılarak örnek alanlara ilişkin Çizelge 3.2’de yer alan vejetasyon indisleri hesaplanmıştır.

**Çizelge 3.2** Landsat 5 TM uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler

<b>Vejetasyon İndisi</b>	<b>Formül</b>	<b>Kaynak</b>
NDVI	$(TM4-TM3)/(TM4+TM3)$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
SR	$(TM4)/(TM3)$	Jordan (1969)
DVI	$(TM4)-(TM3)$	Clevers (1988)
SAVI	$(TM4-TM3)*(1+L)/(TM4+TM3+L)$	Huete (1988)
NDWI	$(TM4-TM5)/(TM4+TM5)$	Gao (1996)
IPVI	$(TM4)/(TM3+TM4)$	Crippen (1990)
EVI	$(TM4-TM3)/((TM4+(C1*TM4)-(C2*TM1))*(1+L))$	Huete et al. (1999)
TVI	$(TM4-TM3)/(TM4+TM3+0.5)$	Deering <i>et al.</i> (1975)
ND32	$(TM3-TM2)/(TM3+TM2)$	Huete <i>et al.</i> (2002)
ND54	$(TM5-TM4)/(TM5+TM4)$	Huete <i>et al.</i> (2002)
ND57	$(TM5-TM7)/(TM5+TM7)$	Huete <i>et al.</i> (2002)
ND73	$(TM7-TM3)/(TM7+TM3)$	Huete <i>et al.</i> (2002)
NLI	$(TM4*TM4-TM3)/(TM4*TM4+TM3)$	Goel and Qin (1994)
GRVI	$(TM2-TM3)/(TM2+TM3)$	Tucker (1979)

### 3.3.3 ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler

Bu çalışmada, ALOS-PALSAR L bantlı uydu görüntüsü ücretsiz olarak <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#> adresinden indirilmiştir. ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait HH ve VV polarizasyonlu görüntüler kullanılmıştır. ALOS-PALSAR ait bazı bilgiler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait bazı bilgiler

	<b>Polarizasyon</b>	<b>Bant</b>	<b>Konumsal çözünürlük(m)</b>
ALOS-PALSAR	HH	L (23.6 cm)	10
	HV	L (23.6 cm)	10

#### 3.3.3.1 ALOS-PALSAR uydu görüntüsünden parlaklık ve geri yansıtım değerlerinin hesaplanması

ALOS-PALSAR uydu görüntüsünü analize hazır hale getirmek için bazı ön işlemlere tabi tutulmuştur. Bu işlemler termal gürültü silme, kalibrasyon, filtreleme ve arazi düzeltmesi şeklindedir. ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait her iki polarizasyona (HH ve HV)

göre her bir örnek alan için parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Bant parlaklık değerlerinin hesaplanmasında; örnek alanın büyüklüğüne bağlı olarak 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 yazılım programı içerisinde yer alan ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Zonal, Zonal Statistic modülü ile yapılmıştır. Her bir örnek alana ilişkin hesaplanan ortalama parlaklık değerleri kullanılarak aşağıda yer alan Denklem (3.2) (Rosenqvist 2007) yardımıyla da her bir örnek alanın geri yansıtım (dB) değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Geri yansıtım değeri (dB)} = 10 * \log_{10} * (DN^2) + CF \quad (3.2)$$

DN: dijital parlaklık değeri, CF: kalibrasyon faktörü (-83)

### 3.3.4 Örnek alanlara ilişkin topoğrafik verilerin hesaplanması

Örnek alanlara ilişkin topoğrafik (eğim, yükselti ve bakı) verilerin hesaplanmasında ALOS-PALSAR uydu görüntüsünden üretilen sayısal arazi yükseklik modeli kullanılmıştır. Öncelikli olarak örnek alanlar sayısal arazi yükseklik modeli üzerine atılmış ve örnek alanların yükseltileri hesaplanmıştır. Daha sonra sayısal arazi yükseklik modeli kullanılarak eğim ve bakı haritaları üretilmiştir. Üretilen eğim ve bakı haritaları üzerine örnek alanlar atılarak, örnek alanların eğimi (%) ve bakısı (derece) hesaplanmıştır. Bu işlemler için ArcGIS 10.6.1 yazılım programından yararlanılmıştır.

### 3.3.5 İstatistiksel analiz

Bu çalışmada, örnek alanlara ilişkin TÜK değerleri ile Landsat 5 TM bant parlaklık değerleri-vegetasyon indis değerleri, ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait HH ve HV polarizasyonlarına ait bant parlaklık-geri yansıtım değerleri ve topoğrafik veriler (yükselti, eğim ve bakı) arasındaki istatistiksel ilişkiler çoğul regresyon analizi modellenmiştir. Çoğul regresyon analizinde tahmin edilmek istenen bağımlı değişken TÜK iken, bağımsız değişken ise; Landsat 5 TM bant parlaklık-vegetasyon indis değerleri, ALOS-PALSAR bant parlaklık-geri yansıtım değerleri ve topoğrafik verilere

ilişkin değerlerdir. TÜK, uydu görüntülerinden ve topoğrafik verilerden elde edilen değişkenlere göre tahmin eden çoğul regresyon model yapısı Denklem (3.3) yer almaktadır.

$$\text{Topraküstü Karbon} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3.3)$$

Denklemde;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  denklem parametrelerini,  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  Landsat 5 TM görüntüsü için her örnek alan için elde edilen parlaklık ile vejetasyon indis değerleri; ALOS-PALSAR uydu görüntüsüne ait HH ve HV polarizasyonlarından elde edilen ortalama bant parlaklık ile geri yansıtım değerleri ve topoğrafik veriler (eğim, baki ve yükselti),  $\varepsilon$  ise model hatasını ifade etmektedir.

Modellerin parametrelerin tahmin edilmesinde ve çeşitli istatistiki değerlerinin hesaplanmasında SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır (SPSS 27.0 Inc. 2007). Çalışma kapsamında 247 adet örnek alan verisi kullanılmıştır. Bu nokta verileri rasgele ikiye ayrılmıştır. Birincisi örnek nokta verisinin yaklaşık %80'i (n=185) modellerin geliştirilmesinde ve ikincisi ise örnek alan verisinin yaklaşık % 20'si (n=62) ise modellerin test edilmesinde kullanılmıştır. Landsat 5 TM, ALOS-PALSAR ve topoğrafik verilere bağlı olan farklı bağımsız değişkenlerden, %95 güvenle anlamlı değişkenlerin belirlenmesinde, Aşamalı (Stepwise) değişken seçimi yöntemi kullanılmıştır.

TÜK'nun yukarıda ifade edilen değişkenlerle birlikte tahmin edilmesinde istatistiksel olarak anlamlı model seçenekleri belirlenmiştir. Model başarılarının değerlendirilmesinde düzeltilmiş  $R^2$  ( $R^2_{\text{düz}}$ ) Denklem (3.4) ve standart hata ( $Sy.x$ ) ölçütleri Denklem (3.5) dikkate alınmıştır. Bu ölçütlere ilişkin formüller aşağıda verilmiştir.

Belirtme Katsayısı:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_g - y_t)^2}{\sum_{i=1}^n (y_g - y_{og})^2} \quad (3.4)$$

Tahminin Standart Hatası:

$$S_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum(T\ddot{U}K_i - \widehat{T\ddot{U}K}_i)^2}{N-p}} \quad (3.5)$$

İlgili formüllerde; yg; gözlem, yt; tahmin, yog; ortalama gözlem, T $\ddot{U}$ K= i. gözlem topraküstü karbon,  $\widehat{T\ddot{U}K}$  = i. tahmin topraküstü karbon, N=gözlem sayısı ve p=parametre sayısı

Bu çalışmada geliştirilen modellerden, düzeltilmiş R<sup>2</sup> (R<sup>2</sup><sub>düz</sub>) ve standart hata (Sy.x) ölçütlerine göre en başarılı model belirlendikten sonra, bu modelin çalışma alanındaki meşcerelere uygunluğunun denetimi, toplam örnek alan verisin %20'sini oluşturan 62 örnek alan yardımıyla yapılmıştır. Seçilen en iyi modelin denetiminde kullanılan örnek alanların (62 adet) arazide ölçülen T $\ddot{U}$ K ile geliştirilen modelle tahmin edilen T $\ddot{U}$ K değerleri İki Eş Arasındaki Farkın Önemlilik Testi (Paired t test) kullanılarak karşılaştırılmıştır (Kalıpsız 1988, Batu 1995). İki farklı şekilde elde edilen T $\ddot{U}$ K değerleri arasında, birincide istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoksa (p>0.05), bu durumda modelin çalışma alanı için uygun olduğu, ikincide ise T $\ddot{U}$ K değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olması durumunda ise (p<0.05) uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her örnek alan için; Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değerleri, ALOS-PALSAR bant parlaklık ve geri yansıtım değerleri ve topoğrafik veriler (eğim, bakı ve yükselti) ile topraküstü karbon (TÜK) değerleri arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Toplam 14 adet regresyon modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modellere ilişkin model bilgileri Çizelge 4.1-Çizelge 4.14'te verilmiştir. Model denklemleri ise Denklem 4.6-4.19'da verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	4.702	0.052	89.670	0.001
TM 7	-0.034	0.003	-11.311	0.001
$R_{düz}^2=0.385$ Sy. x=0.22831				
TÜK = 4.702-0.034*TM7 (4.6)				

Çizelge 4.1 incelendiğinde Landsat 5 TM bant parlaklık değişkeninin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.385$  olarak bulunmuştur. Elde edilen modelde bağımsız değişken olarak TM7 değişkeninin yer aldığı görülmüştür. Literatürde konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde; Lu (2005) yaptığı çalışmada Landsat TM uydusundan elde edilen değişkenler ile TÜB çoğul regresyon analizi ile modellenmiş, en yüksek model belirtme katsayısı bant reflektans değişkenleri ile elde edilmiştir. Günlü *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada Landsat TM bant reflektans değerleri ile TÜB arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiş ve modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.465$  olarak bulunmuştur. Bu çalışmada modele bağımsız değişken olarak TM1 ve TM2 değişkenleri girmiştir. Güverçin ve Günlü (2023) yaptıkları çalışmada ise Landsat 8 OLI bant reflektans değerleri ile TÜB arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiş ve modelin belirtme katsayısı ise  $R_{düz}^2=0.295$  olarak bulunmuştur. Günlü *et al.* (2021) yaptıkları çalışmada ise Landsat 8 OLI bant reflektans değerleri ile TÜK çoğul regresyon analiz ile modellenmiş ve modelin belirtme katsayısı 0.738 olarak bulunmuştur. Aksoy (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise Landsat 8 ve

Sentinel-2 bant reflektans değerleri ile TK arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde hem Landsat 8 hem de Sentinel-2 uydu görüntüleri için  $R^2_{düz}=0.41$  düzeyinde model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Demirel *et al.* (2023) yaptıkları çalışmada saf sedir meşcerelerinde Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak TK tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde bant reflektans değeri ile  $R^2_{düz}=0.456$  düzeyinde bir model belirtme katsayısı elde edilmiştir.

**Çizelge 4.2** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	26.096	6.069	4.300	0.000
NDVI	-7.524	2.517	-2.989	0.003
ND32	-2.760	1.181	-2.337	0.021
IPVI	-15.548	4.750	-3.273	0.001
NLI	3.453	1.120	3.083	0.002
NDWI	-0.706	0.332	-2.126	0.035
ND53	7.820	2.626	2.978	0.003
ND57	7.967	2.874	2.772	0.006
ND73	-7.695	2.420	-3.180	0.002
$R^2_{düz}=0.505$ Sy. x=0.20597				
TK=26.096-7.524*NDVI-2.760*ND32-15.548*IPVI+3.453*NLI-0.706* NDWI+7.820* ND53+7.967* ND57-7.695* ND73				
(4.7)				

Çizelge 4.2 incelendiğinde Landsat 5 TM vejetasyon indis değişkenlerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R^2_{düz}=0.505$  olarak bulunmuştur. Bant parlaklık değerlerine ilişkin elde edilen model belirtme katsayısı ile karşılaştırıldığında, vejetasyon indislerinin yer aldığı modelde daha başarılı sonuç elde edilmiştir. Literatürde konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde; Gaspari *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü kullanılarak TB modellenmiş ve vejetasyon indisleri ile daha başarılı model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Benzer Şekilde, Günlü *et al.* (2014) tarafından yapılan çalışmada ise vejetasyon indisleri ile  $R^2_{düz}=0.606$  düzeyinde bir model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Yapılan çalışmalarda genellikle vejetasyon indisleri ile daha başarılı modeller elde edilmiştir. Situmorang *et al.* (2016) gerçekleştirilen çalışmada Landsat 8 NDVI ve EVI indisleri ile TK arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde EVI ile  $R^2_{düz}=0.830$  ve NDVI ile  $R^2_{düz}=0.728$

düzeyinde model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda ise bu çalışmaların aksine sonuçlar elde edilmiştir. Turgut and Günlü (2022) yaptıkları Landsat 8 OLI bant reflektans ve vejetasyon indis değerleri ile TÜB ayrı ayrı modellenmiş ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde bant reflektans değerleri ile geliştirilen modelin başarısı  $R_{düz}^2=0.445$  iken vejetasyon indislerine  $R_{düz}^2=0.387$  göre daha yüksek bulunmuştur. Sivrikaya and Demirel (2022) tarafından saf kızılçam meşcerlerinde yaptıkları çalışmada Landsat 9 uydu görüntüsünden elde edilen NDVI değerleri ile TÜK arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Çalışmada elde edilen modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.623$  olarak bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından yapılan çalışmada ise bant reflektans değerleri ile  $R_{düz}^2=0.295$  bulunmuşken vejetasyon indisleri için ise  $R_{düz}^2=0.192$  bulunmuştur. Aksoy (2023) yaptığı çalışmada ise Landsat 8 ve Sentinel-2 vejetasyon indisleri ile TÜK arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Landsat 8 ile  $R_{düz}^2=0.43$  ve Sentinel-2 ile  $R_{düz}^2=0.64$  düzeyinde ilişkiler bulunmuştur. Demirel *et al.* (2023) saf sedir meşcerelerinde yaptıkları çalışmada Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak TÜK tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde vejetasyon indisleri ile  $R_{düz}^2=0.488$  düzeyinde bir model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Pardeshi *et al.* (2024) yaptıkları çalışmada Sentinel-2 NDVI değerleri ile TÜB arasında ilişkiler araştırılmıştır. En iyi model sonucu maksimum NDVI değerlerinin kullanıldığı modelde, model belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.43$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.3** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	1.572	0.637	2.468	0.014
TM1	0.029	0.011	2.702	0.007
TM5	0.012	0.006	2.004	0.046
TM7	-0.067	0.014	-4.764	0.000
Yükselti	0.001	0.000	8.877	0.000
$R_{düz}^2=0.483$ Sy. x=0.24506				
TÜK = 1.572+0.029* TM1+0.029* TM5-0.067* TM7+0.001* Yükselti (4.8)				

Çizelge 4.3 incelendiğinde Landsat 5 TM bant parlaklık ile topoğrafik değişkenlerin yer aldığı modelde, model belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.483$  olarak bulunmuştur. Yalnızca bant parlaklık değerlerinin yer aldığı modele göre daha başarılı model sonucu elde edilmiştir. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından yapılan çalışmada bant reflektans ve topoğrafik verilerin birlikte değerlendirildiği modelde modelin belirtme katsayısı ( $R_{düz}^2=0.366$ ), yalnızca bant reflektans değişkenlerinin yer aldığı modele ( $R_{düz}^2=0.295$ ) göre daha başarılı model sonucu elde edilmiştir.

**Çizelge 4.4** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM vejetasyon indis değerleri ve topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	1.089	0.234	4.651	0.000
ND73	-1.670	0.250	-6.665	0.000
SR	1.813	0.409	4.431	0.000
NDVI	-7.184	2.067	-3.476	0.000
EVI	1.396	0.531	2.627	0.001
ND53	1.002	0.271	3.702	0.009
Yükselti	0.001	0.000	9.676	0.000
$R_{düz}^2=0.572$ Sy. x=0.21276				
TÜK=1.089-1.670*ND73+1.813*SR-7.184*NDVI+1.396* EVI+1.002* ND53+0.001*Yükselti (4.9)				

Çizelge 4.4 incelendiğinde Landsat 5 TM vejetasyon indis ile topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı ( $R_{düz}^2=0.572$ ) olarak bulunmuştur. Yalnızca vejetasyon indislerinin yer aldığı modele göre daha başarılı model sonucu elde edilmiştir. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından yapılan çalışmada elde edilen model belirtme katsayısı ( $R_{düz}^2=0.388$ ) bizim çalışmamıza göre daha düşük bulunmuştur.

**Çizelge 4.5** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değerleri göre tahmin eden en iyi model sonuçları

<b>Bağımsız değişkenler</b>	<b>Regresyon katsayıları</b>	<b>Standart hata</b>	<b>t-istatistiği</b>	<b>p</b>
	5.158	0.354	14.569	0.000
TM2	-0.018	0.007	-2.528	0.012
TM7	-0.043	0.018	-2.337	0.020
ND57	-1.177	0.554	-2.125	0.035

$R_{düz}^2=0.352$   $Sy.x=0.25117$   
TÜK = 5.158-0.018\* TM2-0.043\* TM7-1.177\* ND57 (4.10)

Çizelge 4.5 incelendiğinde Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değişkenlerinin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.352$  olarak bulunmuştur. Elde edilen model belirtme katsayısı hem bant parlaklık hem de vejetasyon indis değişkenlerinin ayrı ayrı değerlendirildiği modellere göre daha düşük model belirtme katsayısı bulunmuştur. Literatürde konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde genellikle daha yüksek model başarılarının elde edildiği görülmüştür. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından yapılan çalışmada bant reflektans ve vejetasyon indislerinin birlikte değerlendirildiği modeldebizim çalışmamızın aksine daha başarılı model sonuçları  $R_{düz}^2=0.325$  elde edilmiştir. Demirel *et al.* (2023) yaptıkları çalışmada saf sedir meşcerelerinde Sentinel-2 görüntüsü kullanılarak TÜK modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bant reflektans ile vejetasyon indisleri birlikte değerlendirilmiş ve modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.488$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.6** Topraküstü karbonu Landsat 5 TM bant parlaklık, vejetasyon indis ve topoğrafik değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	16.065	5.750	2.794	0.006
TM1	0.087	0.030	2.843	0.005
TM4	-0.081	0.033	-2.453	0.015
TM7	-0.045	0.016	-2.799	0.006
NDVI	-9.174	2.289	-4.007	0.000
ND57	-1.577	0.648	-2.435	0.016
ND32	-4.433	1.077	-4.117	0.000
ND73	0.902	0.294	3.074	0.002
IPVI	-10.696	4.380	-2.442	0.016
NLI	3.881	1.036	3.746	0.000
SR	1.965	0.431	4.555	0.000
ND57	12.092	2.610	4.632	0.000
ND73	-9.815	2.044	-4.803	0.000
EVI	-7.871	3.166	-2.486	0.014
NDWI	-10.105	2.198	-4.599	0.000
Yükselti	0.002	0.000	10.020	0.000
$R_{düz}^2=0.622$ Sy.x=0.21218				
TÜK = 16.065+0.087* TM1-0.081* TM4-0.045* TM7-9.174* NDVI-1.577* ND57-4.433* ND32+0.902* ND73-10.696* IPVI+3.881* NLI+1.965* SR+12.092* ND57-9.815* ND73-7.871* EVI-10.105* NDWI+0.002* Yükselti (4.11)				

Çizelge 4.6 incelendiğinde Landsat 5 TM bant parlaklık, vejetasyon indis ve topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.622$  olarak bulunmuştur. Elde edilen modelin belirtme katsayısı çalışma kapsamında geliştirilen 14 model içerisinde en iyi ikinci model olmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından yapılan çalışmada bant parlaklık, vejetasyon indis ve topoğrafik değişkenlerin birlikte değerlendirildiği modelde modelin belirtme katsayısı bizim çalışmamıza göre oldukça düşük ( $R_{düz}^2=0.379$ ) bulunmuştur.

**Çizelge 4.7** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	7.365	0.777	9.482	0.001
HH (dB)	0.080	0.018	4.395	0.001
HV/HH	0.531	0.154	3.453	0.001
$R_{düz}^2=0.113$ Sy. x=0.19889				
TÜK = 7.365+0.080* HH (dB)+ 0.531* HV/HH (4.12)				

Çizelge 4.7 incelendiğinde, ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım değişkenlerinin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı ( $R_{düz}^2=0.113$ ) olarak bulunmuştur. ALOS-PALSAR görüntüsünün değişkenlerinden elde edilen modelin belirtme katsayısı 14 model içerisinde en düşük değere sahiptir. Literatürde konu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, Aksoy (2023) yaptığı çalışmada Sentinel-1 bant parlaklık ve geri yansıtım değerleri kullanılarak saf sarıçam meşcerelerinde TÜK tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bizim çalışmamıza göre oldukça düşük model başarılarının elde edildiği görülmüştür. Suman Sinha *et al.* (2016) yaptıkları çalışmada ALOS-PALSAR görüntüsünden elde edilen değişkenler kullanılarak TÜB tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde HH polarizasyonunda elde edilen veriler ile  $R_{düz}^2=0.868$  düzeyinde model belirtme katsayısı elde edilmiştir. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde yapılan çalışmada Sentinel-1 aktif uydusundan elde edilen değişkenlerle birlikte değerlendirildiği modelde, model belirtme katsayısı oldukça düşük ( $R_{düz}^2=0.053$ ) bulunmuştur. Ali and Khati (2024) tarafından yapılan çalışmada ALOS-PALSAR görüntüsünden elde edilen geri yansıtım değerleri ile TÜB arasındaki ilişkiler modellenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, HH polarizasyonundaki ortalama değer ile  $R_{düz}^2=0.52$ , HV polarizasyonundaki ortalama değer ile  $R_{düz}^2=0.51$  ve VV polarizasyonundaki ortalama değer ile  $R_{düz}^2=0.48$  düzeyinde model başarıları elde edilmiştir.

**Çizelge 4.8** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	13.011	3.806	3.418	0.001
HV (dB)	0.202	0.074	2.750	0.001
HV	0.001	0.000	-2.042	0.006
Yükselti	0.001	0.000	9.026	0.042
$R^2_{düz}=0.303$ Sy. x=0.22940				
TÜK = 13.011+0.202* HV (dB)+ 0.001* HV+0.001* Yükselti (4.13)				

Çizelge 4.8 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık, geri yansıtım ve topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı ( $R^2_{düz}=0.303$ ) olarak bulunmuştur. Sadece ALOS-PALSAR uydu görüntüsünden elde edilen değişkenlerle geliştirilen model belirtme katsayısına göre daha başarılı model elde edilmiştir. Model belirtme katsayısının iyileşmesinde, yükseltinin önemli bir etkisi olmuştur. Bizim çalışmamızın aksine Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde Landsat 8 ve Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerle birlikte değerlendirildiği modelde daha düşük model belirtme katsayısı ( $R^2_{düz}=0.10$ ) bulunmuştur.

**Çizelge 4.9** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	2.215	1.164	1.903	0.049
HV (dB)	-0.402	0.132	-3.045	0.003
HH (dB)	0.394	0.134	2.942	0.004
HV/HH	3.189	1.042	3.060	0.003
TM3	-0.056	0.006	-10.166	0.000
$R^2_{düz}=0.356$ Sy. x=0.22764				
TÜK=2.215-0.402*HV(dB)+0.394*HH(dB)+3.189*HV/HH-0.056*TM3 (4.14)				

Çizelge 4.9 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık-geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık değişkenlerinin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R^2_{düz}=0.356$  olarak çalışma kapsamında en yüksek model belirtme katsayısı

olarak bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde Landsat 8 ve Sentinel-1 uydularından elde edilen değişkenlerle birlikte değerlendirildiği modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.313$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.10** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	19.517	6.802	2.869	0.005
NDVI	-9.860	2.674	-3.687	0.000
ND53	-5.966	3.241	-1.841	0.047
ND57	-8.561	3.468	-2.469	0.015
ND32	-17.537	4.037	-4.343	0.000
ND73	6.329	3.225	1.962	0.041
IPVI	-8.628	5.024	-1.717	0.038
NLI	4.212	1.245	3.384	0.001
GRVI	-4.559	1.309	-3.483	0.001
SR	1.988	0.498	3.995	0.000
DVI	-0.063	0.012	-5.092	0.000
SAVI	5.008	2.423	2.067	0.005
NDWI	-8.543	2.982	-2.865	0.004
GRVI	-1.021	0.507	-2.015	0.040
HV(dB)	-0.445	0.130	-3.422	0.005
HH(dB)	0.475	0.131	3.628	0.045
HV/HH	3.529	1.014	3.480	0.001

$$R_{düz}^2=0.494 \quad Sy. x=0.21197$$

$$TÜK=19.517-9.860*NDVI-5.966*ND53-8.561*ND57-17.537*ND32+6.329*ND73-8.628*IPVI+4.212*NLI-4.559*GRVI+1.988*SR-0.063*DVI+5.008*SAVI-8.543*NDWI-1.021*GRVI-0.445*HV(dB)+0.475*HH(dB)+3.529*HV/HH \quad (4.15)$$

Çizelge 4.10 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık-geri yansıtım ile Landsat 5 TM vejetasyon indis değişkenlerinin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.494$  olarak bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde yapılan çalışmada Landsat 8 ve Sentinel-1 uydularından elde edilen değişkenlerle birlikte değerlendirildiği modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.292$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.11** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değerlerine göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	22.284	6.777	3.288	0.001
TM2	0.140	0.073	1.930	0.055
TM4	-0.106	0.037	-2.843	0.005
NDVI	-9.157	2.592	-3.533	0.001
ND57	-2.459	0.667	-3.686	0.000
ND32	-17.484	4.077	-4.289	0.000
ND73	0.632	0.333	1.900	0.059
IPVI	-10.633	5.006	-2.124	0.035
NLI	3.799	1.212	3.134	0.002
GRVI	-4.778	1.322	-3.613	0.000
SR	3.928	0.643	6.108	0.000
NDWI	-6.521	2.708	-2.408	0.017
HV(dB)	-0.453	0.127	-3.571	0.015
HH(dB)	0.475	0.127	3.734	0.017
HV/HH	3.585	0.988	3.630	0.014
$R_{düz}^2=0.490$ Sy. x=0.20812				
TÜK=22.284+0.140*TM2-0.106*TM4-9.157*NDVI-2.459*ND57-17.484*ND32+0.632*ND73-10.633*IPVI+3.799*NLI-4.778*GRVI+3.928*SR-6.521*NDWI-0.453*HV(dB)+0.475*HH(dB)+3.585*HV/HH (4.16)				

Çizelge 4.11 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım ile Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis değişkenlerinin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.490$  olarak bulunmuştur. Elde edilen model belirtme katsayısı, sadece ALOS-PALSAR ve sadece Landsat 5 TM uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerin yer aldığı modellerdeki model başarılarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kumaar *et al.* (2016) ALOS-2 ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılarak TÜB tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde Landsat 8 OLI ile  $R_{düz}^2=0.788$ , ALOS-2 ile  $R_{düz}^2=0.742$  ve iki görüntüden elde edilen değişkenlerin kullanıldığı modelde ise  $R_{düz}^2=0.859$  düzeyinde model başarıları elde edilmiştir. Nuthammachot *et al.* (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında Sentinel-2 ve Sentinel-1(aktif) uydu görüntülerinden elde edilen değişkenler kullanılarak TÜB tahmin edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Sentinel-1 geri yansıtım değerleri ile  $R_{düz}^2=0.34$ , Sentinel-2 görüntüsünden elde edilen değişkenlerle  $R_{düz}^2=0.82$  ve Sentinel-

1 ile Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerin birlikte değerlendirilmesiyle model belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.84$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.12** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve Landsat 5 TM bant parlaklık ile topoğrafik değerlere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	1.669	.566	2.951	0.004
TM1	0.029	.009	3.039	0.003
TM7	-0.043	.005	-9.008	0.000
HH	-0.000019	.000	-1.825	0.040
Yükselti	0.002	.000	11.124	0.000
$R_{düz}^2=0.586$ Sy. x=0.20790				
TÜK = 1.669+0.029* TM1-0.043*TM7-0.000019* HH+0.002* Yükselti (4.17)				

Çizelge 4.12 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ile Landsat 5 TM bant parlaklık ve topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.586$  olarak bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde Landsat 8 ve Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerle, topoğrafik verilerin birlikte değerlendirilmiştir ve modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.389$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.13** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım, Landsat 5 TM vejetasyon indisleri ile topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	11.780	4.449	2.648	0.009
NDVI	-4.937	1.346	-3.668	0.000
ND57	-2.068	0.586	-3.529	0.001
ND32	-4.706	0.726	-6.486	0.000
ND73	1.512	0.290	5.208	0.000
EVI	2.848	1.095	2.602	0.010
Yükselti	0.000129	0.000	11.217	0.001
Bakı	0.000134	0.000	2.926	0.000
Eğim	0.000138	0.000	-3.097	0.000
HH	0.000059	0.000	-2.205	0.004
HV(dB)	-0.046	0.021	-2.162	0.002
HH(dB)	0.251	0.101	2.498	0.029

$$R_{\text{düz}}^2=0.655 \text{ Sy. x}=0.18147$$

$$\text{TÜK}=11.780-4.937*\text{NDVI}-2.068*\text{ND57}-4.706*\text{ND32}+1.512*\text{ND53}+2.848*\text{EVI}+0.000129*\text{Yükselti}+0.000134*\text{Bakı}+0.000138*\text{Eğim}+0.000059*\text{HH}-0.046*\text{HV(dB)}+0.251*\text{HH(dB)} \quad (4.18)$$

Çizelge 4.13 incelendiğinde ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık-geri yansıtım, Landsat 5 TM vejetasyon indis ve topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{\text{düz}}^2=0.655$  olarak çalışma kapsamında en yüksek model belirtme katsayısı bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerelerinde Landsat 8 ve Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerle, topoğrafik veriler birlikte değerlendirilmiş ve modelin belirtme katsayısı  $R_{\text{düz}}^2=0.389$  olarak bulunmuştur.

**Çizelge 4.14** Topraküstü karbonu ALOS-PALSAR polarizasyon parlaklık ve geri yansıtım, Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indisleri ile topoğrafik verilere göre tahmin eden en iyi model sonuçları

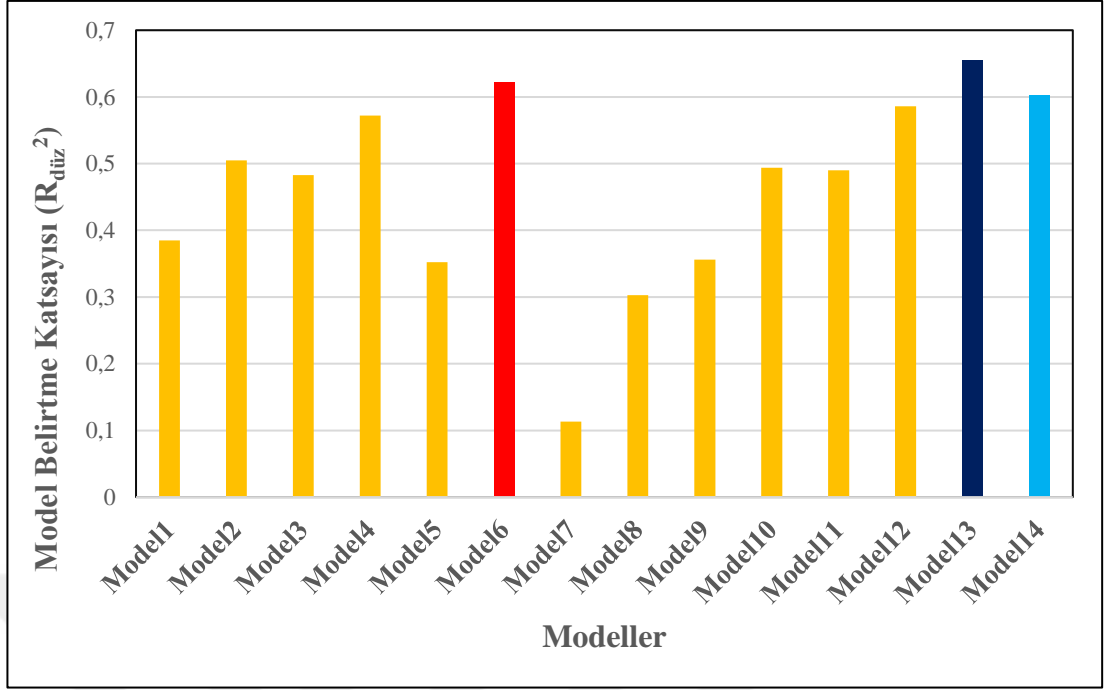
Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	0.207	0.824	0.251	0.002
TM5	-0.015	0.004	-3.597	0.000
NDVI	-3.693	1.364	-2.707	0.007
ND57	-1.853	0.658	-2.815	0.005
ND32	-2.723	0.771	-3.530	0.001
ND73	0.985	0.295	3.334	0.001
EVI	2.634	1.151	2.288	0.023
SR	1.263	0.425	2.975	0.003
TVI	-4.739	2.198	-2.156	0.003
NDWI	-1.391	0.685	-2.032	0.032
Yükselti	0.001	0.000	9.618	0.044
HV(dB)	-0.038	0.016	-2.361	0.000

$$R_{düz}^2=0.603 \text{ Sy. } x=0.20695$$

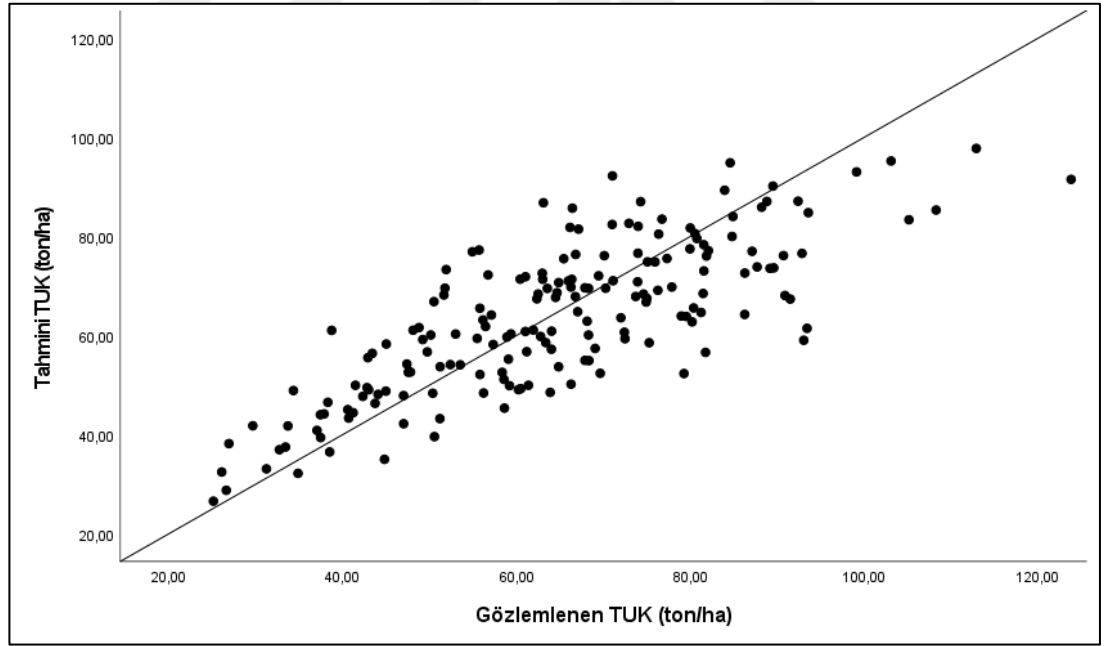
$$TÜK=0.207-0.015*TM5-3.693*NDVI-1.853*ND57-2.723*ND32+0.985*ND73+2.634*EVI+1.263*SR-4.739*TVI-1.391*NDWI+0.001*Yükselti-0.038*HV(dB) \quad (4.19)$$

Çizelge 4.14 incelendiğinde ALOS-PALSAR geri yansıtım, Landsat 5 TM bant parlaklık-vejetasyon indis ve topoğrafik değişkenlerin birlikte yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.603$  olarak bulunmuştur. Güverçin ve Günlü (2023) tarafından saf kızılçam meşcerlerinde Landsat 8 ve Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlerle, topoğrafik veriler birlikte değerlendirilmiş ve modelin belirtme katsayısı  $R_{düz}^2=0.337$  olarak bulunmuştur.

Çalışmadan elde edilen 14 farklı regresyon modelinin başarı düzeylerine gösterir grafik Şekil 4.1’de verilmiştir. Çalışmada geliştirilen 14 farklı çoğul regresyon modeli arasında en iyi tahmin sonucunu veren model 13 nolu modeldir (Çizelge 4.13). Bu modele göre tahmin edilen TÜK’nun envanter karnelerinden hesaplanan TÜK’a göre değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. TÜK’nu en iyi modele (Çizelge 4.13) göre tahmin eden modelle elde edilen hataların, tahmin edilen TÜK’a göre değişimi Şekil 4.3’te verilmiştir.

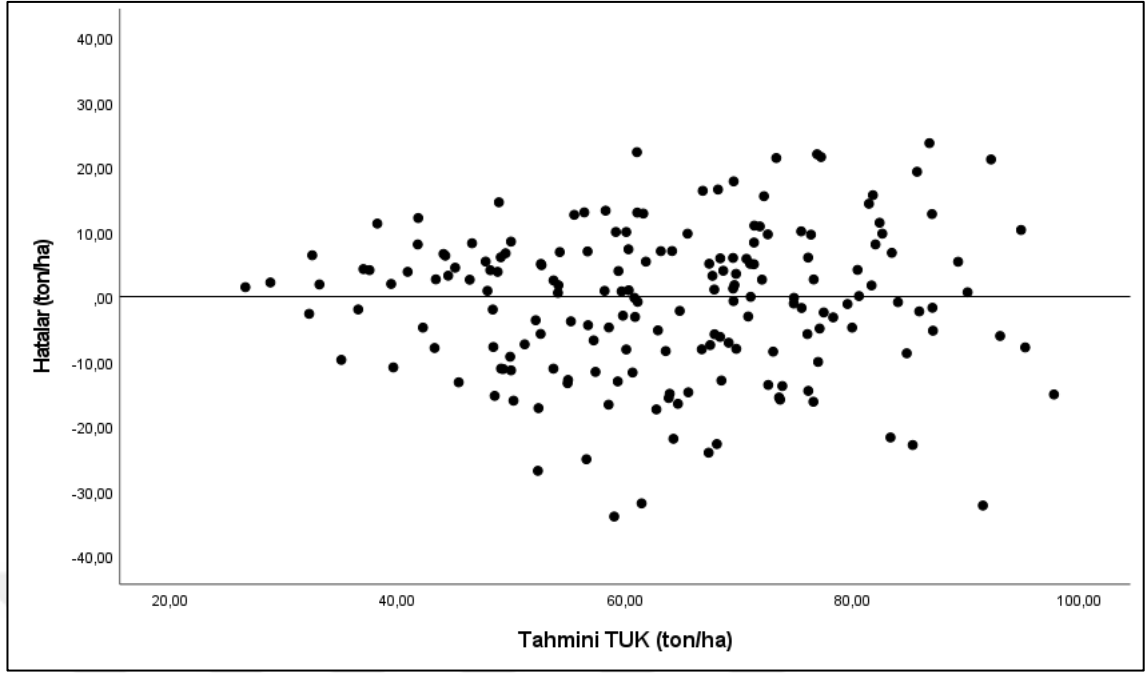


Şekil 4.1 Çoğul regresyon modellerine göre model başarıları



Şekil 4.2 En iyi regresyon modeline (Model 13) göre hesaplanan topraküstü karbon ile tahmin edilen topraküstü karbon ilişkisi

TÜK'nu en iyi model (Çizelge 4.13) değerlerine göre tahmin eden modelde elde edilen hataların, tahmini TÜK'a göre değişimi Şekil 3.3'de verilmiştir.



**Şekil 4.3** En iyi regresyon modelini (Model 13) esas alan modelle elde edilen hatalar-tahmini topraküstü karbon ilişkisi

TÜK'nun tahmin edilmesinde geliştirilen modeller içerisinde en başarılı tahmin sonuçlarının elde edildiği TÜK modelinin, örneklenen topluma istatistiksel olarak uygunluğu bağımsız bir veri grubu ile test edilmiştir. Bu regresyon modeli ile edilen tahminler ve gözlem değerleri arasında farkın test edilmesinde Eşleştirilmiş t testi (Paired t test) kullanılmıştır. Eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre (en başarılı regresyon modeli için  $t=0.421$ ,  $p(=0.675)>0.05$ ) tahmin edilen TÜK değerleri ve gözlenen TÜK değerleri arasında  $\alpha=0.05$  önem düzeyi ile istatistiksel olarak bir fark olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer bir ifadeyle bu çalışma kapsamında geliştirilen en iyi regresyon modeli, bu modelin geliştirilmesi aşamasında verilerin elde edildiği Elekçamı orman işletme şefliği sınırları içerisinde yer alan saf karaçam meşcereleri için kullanılabilir olduğu söylenebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Saf karaçam meşcerlerinden alınan örnek alanlara ilişkin Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis, ALOS-PALSAR'a ait her iki polarizasyona ilişkin parlaklık ve geri yansıtım ile eğim, bakı ve yükselti değişkenleri ile örnek alanlara ilişkin hesaplanan topraküstü karbon (TÜK) değerleri arasındaki ilişkiler çoğul regresyon analizi ile modellenmiştir. Toplam 14 adet çoğul regresyon modeli geliştirilmiştir. Elde edilen modellerin başarıları  $R_{düz}^2 = 0.303$  ile  $R_{düz}^2 = 0.655$  arasında değişmektedir. En başarılı sonuçlar (Model 13) ( $R_{düz}^2 = 0.655$ ) Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis, ALOS-PALSAR uydu görüntüsünün HH polarizasyonundan elde edilen parlaklık, HV ve HH polarizasyonlarından elde edilen geri yansıtım ile eğim, bakı ve yükseltinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelde elde edilmiştir. En başarılı ikinci sonuçlar (Model 6) ( $R_{düz}^2 = 0.622$ ) Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis ile yükseltinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelde elde edilmiştir. En başarılı üçüncü sonuçlar (Model 14) ( $R_{düz}^2 = 0.603$ ) ise Landsat 5 TM bant parlaklık ve vejetasyon indis, ALOS-PALSAR uydu görüntüsünün HV polarizasyonundan elde edilen geri yansıtım ile yükseltinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelde elde edilmiştir. Buna karşın en başarısız sonuçlar (Model 7) ( $R_{düz}^2 = 0.113$ ) başarısı ise ALOS-PALSAR'a ait polarizasyon parlaklık ve geri yansıtımın bağımsız değişkenler olarak yer aldığı modelde elde edilmiştir.

Landsat 5 TM ve ALOS-PALSAR uydu görüntülerinden elde edilen değişken ya da değişkenlerin yer aldığı modellerin başarısı, bu değişkenlere eğim, yükselti ve bakının birlikte ya da en az birinin yer aldığı modellere göre daha düşük bulunmuştur. Diğer bir ifadeyle uydu görüntülerinden elde edilen değişkenlere eğim, yükselti ve bakı değişkenlerin ilave edilmesi modellerin başarısını artırdığı görülmüştür.

Çalışmadan elde edilen en başarılı model, benzer orman ekosistemlerde çalışma alanına yakın) kullanılabilir. Farklı uydu (Sentinel-1, Sentinel-2, Göktürk, İnsansız Hava Aracı, Lidar vb.) görüntüleri ile farklı modelleme tekniklerinin (Yapay sinir ağları, derin öğrenme, destek vektör makineleri, çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri vb.)

kullanılması TÜK'nun tahmin edilmesine yönelik ileriye dönük yapılacak çalışmalarda modelin belirtme katsayısını artırabilir.



## 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.
- Ali, N. and Khati, U. 2024. Forest aboveground biomass and forest height estimation over a sub-tropical forest using machine learning algorithm and synthetic aperture radar data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-16.
- Anonim 2012. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü, Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü, Elekeçamı orman işletme şeflikliği, fonksiyonel orman amenajman planı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi, Ankara.
- Asan, Ü. Destan, S. ve Özkan, U.Y. 2002. İstanbul korularının karbon depolama, oksijen üretime ve toz tutma kapasitelerinin kestirilmesi, Orman Amenajmanında Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu, İstanbul, ss. 194-202.
- Asan, Ü. 1995. Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 45(1-2): 23-38.
- Avtar, R., Mukherjee, S., Abayakoona, S.B.S., Sophal, C., & Thapad, R. 2018. Integrating ALOS-PALSAR and ground based observations for forest biomass estimation for REDD+ in Cambodia. *APN Science Bulletin*, 8(1), 52-58.
- Backéus, S., Wikström, P., & Lämås, T. 2005. A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production. *Forest Ecology and Management*, 216, 28–40.
- Batu, F. 1995. Uygulamalı istatistik yöntemler, K.T.Ü. Orman Fakültesi, Genel Yayın No:179, Fakülte Yayın No: 22, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Başkent, E.Z. 2022. Karbon tutulumunun orman amenajman planlarına entegrasyonu. *ArtGRID*, 4(2): 324-342.
- Bolat, N. 2019. ÇAKÜ Orman Fakültesi Araştırma ve Uygulama ormanında Göktürk-2 uydu görüntüsü kullanılarak topraküstü biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 50 sayfa, Çankırı.
- Bulut, S. 2023. Machine learning prediction of above-ground biomass in pure calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands of the mediterranean region, Türkiye. *Ecological Informatics*, 74: 101951.

- Bulut, S., Sivrikaya, F., & Günlü, A. 2022. Evaluating statistical and combine method to predict stand above-ground biomass using remotely sensed data. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9): 1-14.
- Clevers, J.G.P.W. 1988. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, *Remote Sensing of Environment*, 25: 53–70.
- Crippen, R.E. 1990. Calculating the vegetation index faster, *Remote Sensing of Environment*, 34: 71-73.
- Çelik, D.A. ve Şahin, A. 2023. Çaltepe orman planlama birimindeki karbon depolamasının zamansal ve konumsal değişimi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 4(2): 224-233.
- Deering, D.W., Rouse, J.J.W., Haas, R.H., & Schell J.S. 1975. Measuring forage production of grazing units hom Landsat MSS data, *Proceedings 10th International Symposium Remote Sensing Environment*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp.1169-1178.
- Değirmenci, A. S. ve Zengin, H. 2016. Ormanlardaki karbon birikiminin konumsal ve zamansal değişiminin incelenmesi: Daday planlama birimi örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17 (2): 177-187.
- Değirmenci, A.S. 2023. Düzce ili karasal karbon kapasitesinin belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 11(1): 99-110.
- Demirel, D., Günlü, A., & Sakıcı, O.E. 2023. Estimating above-ground carbon of taurus cedar stands using Sentinel-2 satellite image: a case study of Elmalı forest enterprise. In *3rd International Congress on Engineering and Life Science*, Trabzon, pp.119-128.
- Dewantoro, B. E. B. and Jatmiko, R. H. 2021. Estimation of aboveground carbon stock using SAR Sentinel-1 imagery in samarinda city. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 18(1): 103-116.
- Durkaya, B., Durkaya, A. ve Kocaman, M. 2017. Carbon stock change; Bolu sarialan forest enterprise. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1): 268-275.
- Gasparri, N.I., Parmuchi, M.G., Bono, J., Karszenbaum, H., & Montenegro, C.L. 2010. Assessing multi-temporal Landsat 7 ETM+ images for estimating above-ground biomass in subtropical dry forests of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 74(10): 1262-1270.

- Goel, N.S. and Qin, W. 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10(4): 309-347.
- Günlü, A. and 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., 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.
- 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*, 289-298.
- Günlü, A., Keleş, S., Ercanlı, İ., & Şenyurt, M. 2021. Estimation of aboveground stand carbon using Landsat 8 OLI satellite image: a case study from Turkey. *Spatial Modeling in Forest Resources Management: Rural Livelihood and Sustainable Development*, pp.385-403.
- Güvercin, İ. ve Günlü, A. 2023. Saf kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde aktif ve pasif uydu görüntüleri kullanılarak topraküstü biyokütlenin tahmin edilmesi (Anamur Orman İşletme Şefliği Örneği). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25(1): 177-191.
- Hamdan, O., Hasmadi, I. M., & Aziz, H.K. 2014. Combination of SPOT-5 and ALOS PALSAR images in estimating aboveground biomass of lowland dipterocarp forest. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18(1), p. 012016, doi:10.1088/1755-1315/18/1/012016.
- Hashimoto, T., Kojima, K., Tange, T., & Sasaki, S. 2000. Changes in carbon storage in fallow forests in the tropical lowlands of Borneo. *For Ecol Manage*, 126: 331–337.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3): 295-309.
- Huete, A.R., Justice, C., & van Leeuwen W. 1999. MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document (ATBD) Version 3.0, EOS Project Office, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD2.

- Huete, A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663–666.
- Kalıpsız, A. 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No:354, İstanbul, 407 s.
- Keleş, S. ve Başkent, E.Z. 2006. Orman ekosistemlerindeki karbon değişiminin orman amenajman planlarına yansıtılması: kavramsal çerçeve ve bir örnek uygulama (1.Bölüm), *Orman ve Av Dergisi*, 83(2): 36-41.
- Keleş, S., Günlü, A., & Ercanli, İ. 2021. Estimating aboveground stand carbon by combining Sentinel-1 and Sentinel-2satellite data: A case study from Turkey. In P. Kumar Shit, H. R. Pourghasemi, P. P. Adhikary, G. S. Bhunia & V.P. Sati (Eds.), *Forest resources resilience and conflicts*, pp. 117-126.
- Kumar, K.K., Nagai, M., Witayangkurn, A., Kritiyutanant, K., & Nakamura, S. 2016. Above ground biomass assessment from combined optical and SAR remote sensing data in Surat Thani Province, Thailand. *Journal of Geographic Information System*, 8(04): 506.
- Lu, D. 2005. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon Basin. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 2509–2525.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. 2002. Above-ground biomass estimation of successional and mature forests using TM images in the Amazon Basin. In *Advances in spatial data handling: 10th international symposium on spatial data handling*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 183-196.
- Maynard, C.L., Lawrence, R.L., Nielsen, G.A., & Decker, G. 2007. Modeling vegetation amount using bandwise regression and ecological site descriptions as an alternative to vegetation indices. *GIScience and Remote Sensing*, 44(1): 68-81.
- Mısır, N., Mısır, M. ve Ülker, C. 2012. Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi. 1.Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş, ss. 524-531.
- Muukkonen, P. and Heiskanen, J. 2007. Biomass estimation over a large area based on standwise Forest inventory data and ASTER and MODIS satellite data: A

- possibility to verify carbon inventories. *Remote Sensing of Environment*, 107(4): 617-624.
- Nuthammachot, N., Askar, A., Stratoulas, D., & Wicaksono, P. 2022. Combined use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improving above-ground biomass estimation. *Geocarto International*, 37(2): 366- 376.
- Pachauri, R.K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & van Ypserle, J.P. 2014. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (p. 151). Ipcc.
- Pardeshi, S. N., Chavan, M., Kale, M., Khare, M., Lele, N., & Bhattacharya, B. K. 2024. Mangrove Carbon Pool Patterns in Maharashtra, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 1-12.
- Rosenqvist, A., Shimada, M., Ito, N., & Watanabe, M. 2007. ALOS PALSAR: a Pathfinder mission for Global-Scale Monitoring of the environment. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 45: 3307–3316.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Shell, J.A., & Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS-1. *Proceedings, 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, 1: 309-317.
- Sakici, O.E., Seki, M., & Saglam, F. 2018. Above-ground biomass and carbon stock equations for Crimean pine stands in Kastamonu region of Turkey. *Fresenius Environ Bull.* 27(10): 7079–7089.
- Seki, M., Sakıcı, O., Büyükterzi, M., & Sağlam, F. 2017. Temporal changes in carbon stock of Taşköprü forest enterprise forests. In *Proceeding in International Taşköprü Pompeiopolis Science Culture Research Symposium*, pp. 10-12.
- Situmorang, J. P., Sugianto, S., & Darusman, D. 2016. Estimation of carbon stock stands using EVI and NDVI vegetation index in production forest of lembah seulawah sub-district, Aceh Indonesia. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 5(3): 126-139.
- Sivrikaya, F. and Demirel, D. 2022. Estimation of aboveground carbon storage based on remote sensing and inventory data: A case study from Türkiye. *Journal of Biometry Studies*, 2(2): 78-86.

- Sivrikaya, F. ve Bozali, N. 2012. Karbon depolama kapasitesinin belirlenmesi: Türkoğlu planlama birimi örneği. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1): 69-76.
- Sivrikaya, F., Keleş, S., & Çakır, G. 2007. Spatial distribution and temporal change of carbon storage in timber biomass of two different forest management units. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132:429-438.
- SPSS Institute Inc., 2007. *SPSS Base 270 User's Guide*, 770 s.
- Suman Sinha, S.S., Jeganathan, C., Sharma, L. K., Nathawat, M. S., Das, A. K., & Shiv Mohan, S.M. 2016. Developing synergy regression models with space-borne ALOS PALSAR and Landsat TM sensors for retrieving tropical forest biomass. *J. Earth Syst. Sci.*, 725–735.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127–150.
- Turgut, R. and Günlü, A. 2022. Estimating aboveground biomass using Landsat 8 OLI satellite image in pure Crimean pine (*Pinus nigra* JF Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) stands: a case from Turkey. *Geocarto International*, 37(3): 720-734.
- Varol, T., Durkaya, B. ve Okan, E. 2018. Biyokütle denklemleri ve biyokütle genişletme faktörü (BEF) ile karbon hesabı; Amasra orman işletme şefliği örneği. 4th International Symposium on Environment and Morals, Bosnia and Herzegovina, pp. 63-70.
- Yolasığmaz, H.A., Çavdar, B., Demirci, U. ve Aydın, İ. 2016. İki farklı yöntemle göre karbon birikiminin tahmin edilmesi: Artvin Orman İşletme Şefliği örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 17(1):43-51.
- Zhao, P., Lu, D., Wang, G., Liu, L., Li, D., Zhu, J., & Yu, S. 2016. Forest aboveground biomass estimation in Zhejiang Province using the integration of Landsat TM and ALOS PALSAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 53: 1-15.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Erdal ŞAHAN

### Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	2022-2024
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü	2015-2019

### İş Deneyimi

Yıl	Kurum	Görev
2019- Halen	İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü	Bölge Müdür Yardımcısı
2016 – 2019	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü	İzmir Orman İşletme Müdürü
2013 – 2016	Balıkesir Orman Bölge Müdürlüğü	Balıkesir Orman İşletme Müdür Yardımcılığı
2008 – 2013	İzmir Orman Bölge Müdürlüğü Gaziemir Orman İşletme Müdürlüğü	Gaziemir Orman İşletme Şefliği
2005 – 2008	Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü	Kabaçam Orman İşletme Şefliği
2002 - 2005	Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü Boyabat Orman İşletme Müdürlüğü	Saraydüzü Orman İşletme Şefliği

### Projeler

- İPA Sınırötesi İşbirliği Projesi kapsamında Orman Yangınlarının önlenmesi Projesi
- ENİ CBC Black Sea Basin Programı 2014-2020 ENİ Karadeniz Havzası Sınır Ötesi İş
- Birliği Programı Co-Prevent (Afet-Orman Yangınları Koruma, Öneleme Projesi)