

ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAF SEDİR MEŞCERELERİNDE LANDSAT 8 OLI UYDU GÖRÜNTÜSÜ
KULLANILARAK TOPRAKÜSTÜ BİYOKÜTLENİN TAHMİN EDİLMESİ
(KAŞ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ ÖRNEĞİ)

Fatih SARIÇAM

ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2024

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Fatih SARIÇAM tarafından hazırlanan “Saf Sedir Meşcerelerinde Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü Kullanılarak Topraküstü Biyokütlenin Tahmin Edilmesi (Kaş Orman İşletme Müdürlüğü Örneği)” adlı tez çalışması 26/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Sedat KELEŞ

Jüri Üyeleri :

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

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

Üye : Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Kastamonu Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ersoy YILMAZ
Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Saf Sedir Meşcerelerinde Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü Kullanılarak Topraküstü Biyokütlenin Tahmin Edilmesi**” 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 (26/11/2024).

Fatih SARIÇAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAF SEDİR MEŞCERELERİNDE LANDSAT 8 OLI UYDU GÖRÜNTÜSÜ KULLANILARAK TOPRAKÜSTÜ BİYOKÜTLENİN TAHMİN EDİLMESİ (KAŞ ORMAN İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ ÖRNEĞİ)

Fatih SARIÇAM

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sedat KELEŞ

Bu yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen çalışmanın amacı, Antalya Orman Bölge Müdürlüğü, Kaş Orman İşletme Müdürlüğü plan sınırları içinde kalan saf sedir meşcerelerinde topraküstü biyokütlenin Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak tahmin edilmesidir. Bu doğrultuda, amenajman planlarının güncellenmesi ile yerleri sistematik olarak belirlenmiş 618 adet örnek alan kullanılmıştır. Yersel ölçümlerle koordinatları belirlenen bu örnek alanlar, Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne aktarılmıştır. Ardından, örnek alanlara ait bant reflektans, vejetasyon indis değerleri ve tekstür değerleri hesaplanmıştır. Bant reflektans, tekstür ve vejetasyon indis değerleri arasındaki ilişkilerin incelenmesinde çoklu regresyon analizi kullanılmış ve topraküstü biyokütle miktarlarıyla olan modellemeleri ortaya konulmuştur.

Elde edilen bulgular incelendiğinde, bağımsız değişken olarak kullanılan Bant2, Bant5 ve Bant7'nin regresyon denklemi ile topraküstü biyokütle arasında $R^2=0,186$ - $S_{y,x}=78,5729$; NBR, VIS123, SARVI ve ND32'nin bağımsız değişkenlerin olduğu

regresyon denklemi ile topraküstü biyokütle arasında $R^2=0,181$, $S_{y,x}=77,5853$ bir ilişki bulunmuştur. Ayrıca, bağımsız değişken olarak Bant2 3x3 COR, Bant3 5x5 M, Bant4 7x7 CON, Bant5 9x9 HOM, Bant6 9x9 DİS ve Bant7 9x9 ENT tekstür özelliklerinin kullanıldığı regresyon modelleri ile topraküstü biyokütle arasında $R^2=0,453$ - $S_{y,x}=66,9189$ güçlü ilişkiler tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde tekstür özelliklerinin topraküstü biyokütle tahminlerinde yüksek doğrulukla sonuç verdiği görülmektedir.



2024, 41 sayfa

ANAHTAR KELİMELEER: Sedir, Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü, Topraküstü
Biyokütle, Modelleme, Regresyon

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ESTIMATING ABOVE-GROUND BIOMASS USING LANDSAT 8 OLI SATELLITE IMAGE IN PURE CEDAR STANDS (A CASE STUDY IN KAŞ DISTRICT DIRECTORATE OF FORESTRY)

Fatih SARIÇAM

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

Supervisor: Prof. Dr. Sedat KELEŞ

The aim of this master's thesis is estimating the aboveground biomass in pure cedar stands within the planning boundaries of the Kaş Forest Management Directorate, which operates under the Antalya Forest Regional Directorate, using Landsat 8 OLI satellite image. In this context, 618 systematically located sample plots, determined through the update of forest management plans, were utilized. These sample plots, whose coordinates were determined by ground measurements, were transferred to Landsat 8 OLI satellite image. Subsequently, band reflectance, vegetation index values and texture values of the sample areas were calculated. Multiple regression analysis was used to examine the relationships between band reflectance, texture and vegetation indices features and their modeling with above-ground biomass quantities was demonstrated.

The analysis of the findings revealed that the regression equation using Band2, Band5, and Band7 as independent variables had a relationship with aboveground biomass ($R^2=0,186$ - $S_{y,x}=78,5729$), while the regression equation using NBR, VIS123, SARVI,

and ND32 as independent variables showed a relationship with aboveground biomass ($R^2=0,181$ - $S_{y,x}=77.5853$). Additionally, strong relationships were identified between aboveground biomass and regression models using texture features as independent variables, including Band2_3x3_COR, Band3_5x5_M, Band4_7x7_CON, Band5_9x9_HOM, Band6_9x9_DIS, and Band7_9x9_ENT, yielding an adjusted $R^2=0.453$ and $S_{y,x}=66.9189$. The studies reviewed demonstrate that texture features provide results with high accuracy in aboveground biomass estimation.

2024, 41 pages

KEY WORDS: Cedar (Cetrus), Landsat 8 OLI Satellite Image, Aboveground Biomass, Modeling, Regression

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak, saf Toros Sediri (*Cedrus libani* var. *brevifolia*) meşcerelerinde topraküstü biyokütlenin tahmin edilmesi (Kaş Orman İşletme Müdürlüğü Örneği) başlığı altında, Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, tez danışmanım sayın Prof. Dr. Sedat KELEŞ'e, değerli rehberliği, sabırlı ve sürekli desteği için en derin teşekkürlerimi sunarım. Onun uzmanlığı, yönlendirmeleri ve eleştirileri bu çalışmanın başarısında önemli bir rol oynamıştır.

Tez çalışmam boyunca beni destekleyen sayın hocalarım Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ ve Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA'ya fikir ve önerileriyle çalışmamın kalitesini artırdıkları için teşekkür ederim. Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Sinan BULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımcı olan Orman Genel Müdürlüğüne verdikleri destek ve sağladıkları veri paylaşımı için teşekkür ederim.

Ayrıca, sabırla ve sevgiyle yanımda olan eşim Melek SARIÇAM ve biricik kızım Duru SARIÇAM'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Fatih SARIÇAM

Çankırı, Kasım 2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. MATERYAL VE METOT	6
3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı	6
3.2 Materyal	6
3.3 Yöntem.....	7
3.3.1 Envanter verilerine ilişkin değerlendirmeler.....	7
3.3.2 Landsat8 OLI uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler.....	8
3.3.2.1 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden bant reflektans değerlerinin hesaplanması.....	8
3.3.2.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak vejetasyon indis değerlerinin elde edilmesi.....	9
3.3.2.3 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden tekstür değerlerinin elde edilmesi.....	11
3.3.3 İstatistiksel analiz	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
4.1. Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsüne İlişkin Bulgular	13
4.1.1. Bant reflektans değerlerine ilişkin bulgular.....	13
4.1.2. Vejetasyon indis değerlerine ilişkin bulgular	13
4.1.3. Tekstür değerlerine ilişkin bulgular.....	14
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	25
KAYNAKLAR	26
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER DİZİNİ

m	Metre
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
cm	Santimetre
°C	Santigrat derece



KISALTMALAR DİZİNİ

ha	Hektar
R ²	Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı
TM	Thematic Mapper
ETM+	Enhanced Thematic Mapperplus
TÜB	Topraküsütü Biyokütle
d _{1.3}	Envanter karnesinde alınan ağacın göğüs yüzeyindeki çapı
GLAS	Geoscience Laser Altimetry System
MID	Middle Infrared Wavelengths
GNDVI	Green Normal Difference Vegetation Index
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
MSI	Moisture Stress Index
MSR	Modified Simple Ratio
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NLI	Non-Linear index
NBR	Normalized Burn Ratio
PSSR	Pigment Specific Simple Ratio
EVI	Enhanced Vegetation Index
IPVI	Infrared Percentage Vegetation Index
NBR2	Normalized Burn Ratio2
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
RVI	Ratio Vegetation Index
MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
EVI2	Enhanced Vegetation Index 2
ARVI	Atmospherically Resistant Vegetation Index
DVI	Difference Vegetation Index
ND32	Normalized Difference 32
ND53	Normalized Difference 53
ND73	Normalized Difference 73
MID57	Middle Infrared Wavelengths57
VIS123	Visible Bands

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu	7
Şekil 4.1 Bant reflektans değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi	19
Şekil 4.2 Bant reflektans değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki	20
Şekil 4.3 Vejetasyon indis değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi	21
Şekil 4.4 Vejetasyon indis değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki	22
Şekil 4.5 Tekstür değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi	23
Şekil 4.6 Tekstür özelliklerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki	24

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü bantlarına ait bilgiler.....	8
Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan vejetasyon indis verileri.....	9
Çizelge 3.3 Çalışmada kullanılan bazı tekstür özelliklerine ilişkin semboller.....	11
Çizelge 4.1 Bant reflektans değerlerine dayalı olarak topraküstü biyokütle tahmininde elde edilen en yüksek doğruluk oranına sahip model sonuçları.....	13
Çizelge 4.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen vejetasyon indis değerlerine dayalı olarak yapılan tahminlerde elde edilen en yüksek doğruluk oranına sahip model sonuçları.....	13
Çizelge 4.3 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans verileri ve vejetasyon indisine dayalı olarak yapılan tahminlerde elde edilen en iyi model sonuçları.....	14

1. GİRİŞ

Toros Sediri (*Cedrus libani* var. *brevifolia*), *Cedrus libani* türüne ait bir varyetedir ve Türkiye'nin Toros Dağları'nda doğal olarak gelişir. 30-40 metreye kadar boylanabilen bu ağaç, genellikle 20-30 metreye kadar büyür. Düzgün ve kalın bir gövde yapısı, gri-kahverengi renkte olup, yaşlandıkça kabuğu pütürlü bir hal alır. İğne yaprakları kısa (2 – 3 cm), mavi-yeşil renkte olup, genellikle 2 – 3 yıl boyunca yaşamaktadır. Erkek ve dişi çiçekleri ayrı konumlarda bulunur; kozalakların uzunluğu ise 8 – 10 cm ve konik şekillidir.

Nemli ve geçirimli (iyi drene) edilmiş topraklarda daha iyi gelişen bu ağaç türü kurak iklimlerde hayatta kalabilen bir ağaçtır. Kayalık ve asidik topraklarda yetişen bu ağaç çoğunlukla 1.000 – 2.500 metre yükseklikte yetişir. Ekolojik ve tarihi açıdan büyük önem arz etmektedir. Günümüzde, orman alanlarının azalması ve yerleşim yerlerinin genişlemesi nedeniyle bu türün korunması gerekmektedir (Yaltırık 2000).

Biyokütle üzerine yapılmış çalışmalarda birbirine benzer ancak farklı tanımlamalarda bulunulmuştur. Bunlardan bazıları şöyledir:

Sun vd. 1980'e göre biyokütle; "Bir ağaçtan elde edilebilecek gövde, dal, yaprak, kabuk ve köklerden oluşan ve bu ağaçların oluşturduğu meşcerenin toplam kütle (ağırlık) miktarı olarak ifade edilmektedir."

Saraçoğlu 1988'e göre biyokütle; "Ekosistemlerdeki madde birikimi ve değişimini, ormanların karbon stokları ile yıllık karbon depolama kapasitelerini ve ormanların biyoenerji kapasitelerini oluşturur".

Dixon vd. 1994'e göre biyokütle; "Bitkilerin ve ağaçların oluşturduğu bütün organik maddeleri tanımlayan bir terimdir. Fotosentez sürecinde güneş enerjisinin toplandığı ve depolandığı alanlardır."

Topraküstü biyokütle, bir ekosistemdeki bitkilerin ve organik maddelerin yer yüzeyinde bulunan kısmının toplam biyolojik kütlesidir. Genellikle, ağaçların gövdesi, dalları, yaprakları ve diğer bitkisel materyaller topraküstü biyokütleyi oluşturur. Topraküstü biyokütle, karbon depolama kapasitesini belirleyen ve ekosistem sağlığı açısından kritik öneme sahip bir parametredir. Ayrıca, ormanların, tarım alanlarının ve diğer doğal alanların biyokütlesi, ekosistemler arası enerji ve madde döngülerinin izlenmesinde kullanılır.

Fosil kaynaklı doğal kaynaklarının azalması ile atmosferde karbondioksit konsantrasyonunun artması, orman biyokütlesi gibi yenilenebilir kaynaklara olan ilgiyi arttırmıştır.

Topraküstü biyokütle, ormanlar gibi büyük biyomlarda karbon depolama kapasitesinin hesaplanmasında, ekosistem hizmetlerinin değerlendirilmesinde ve iklim değişikliği çalışmalarında önemli bir parametre olarak kullanılır. Uzaktan algılama teknolojileri, topraküstü biyokütleyi tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan araçlardır.

Ormanlar, ülkemiz açısından biyokütle kaynağı zengin olan en önemli kaynaktır. Ormanlarımızdaki bu biyokütlenin alansal dağılımı, envanterinin takip edilmesi ve ekonomik olarak uygulanabilirliğinin analiz edilmesi önem arz etmektedir. Her bir ağacın yaş, boy, çap ve gövde hacmi gibi ölçümleri, orman envanterlerinde tek tek yapılmaktadır. Biyokütle potansiyelinin hızlı ve kapsamlı bir biçimde belirlenmesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu sayesinde mümkün olmaktadır (Kandemir 2022).

Bu çalışmada, 2024 yılında Kaş Orman İşletme Müdürlüğü tarafından orman amenajman planının yenilenmesi amacıyla sistematik olarak belirlenen örnek alanlarda gerçekleştirilen envanter çalışması sonuçları kullanılmıştır. Bu çalışmada, örnek alanlardaki ağaçlara ait göğüs çapları ile hesaplanan topraküstü biyokütle değerleri, uydu görüntüsü olarak kullanılan Landsat 8 OLI'den türetilen bant reflektans, vejetasyon indisi ve tekstür verileri ile ilişkilendirilmiş ve bu ilişkilerin istatistiksel olarak incelenmesi ile model tahminlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Işık (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak, saf karaçam ormanlarında topraküstü meşcere karbon miktarının hesaplanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün bant refleksans değerleri ile elde edilen belirtme katsayısı $R^2=0,593$ olarak belirlenmiş; vejetasyon indisi değerleri ile elde edilen en yüksek belirtme katsayısı ise $R^2=0,635$ tekstür özellikleri ile elde edilen belirtme katsayısı ise $R^2=0,581$ olarak tespit edilmiştir.

Güverçin (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, saf kızılçam ormanlarında; Sentinel-1A, Landsat 8 OLI ve bazı topografik veriler kullanılarak topraküstü biyokütle modellenmesi yapılmıştır. Bağımsız ve bağımlı değişkenler çoklu regresyon metodu ile modellenmiştir. Yapılan bu modeller arasında en yüksek ilişki $R^2=0,509$; $S_{y,x}=28,399$ tespit edilmiştir.

Keleş vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, iki uydu verisinin birleşimi kullanılmıştır. Bunlar Sentinel-1 ve -2 uydularıdır. Farklı modelleme teknikleri (regresyon analizi, derin öğrenme ve destek vektör makineleri) aracılığıyla topraküstü meşcere karbon değerleri arasındaki ilişkilerin başarı düzeyleri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu verilerinin kombine kullanımının model başarılarını artırdığı gözlemlenmiştir. Destek vektör makineleri ile elde edilen modelin $R^2=0,877$; derin öğrenme ile geliştirilen modelin $R^2=0,857$ regresyon analizi ile oluşturulan modelin başarı düzeyi ise $R^2=0,748$ olarak tespit edilmiştir.

Turgut (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışma, saf karaçam ormanlarında yapılmıştır. Topraküstü biyokütlenin tahmin edilmesi amaçlanmış ve uydu görüntüsü olarak Landsat 8 OLI kullanılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan uydu görüntüsünün bant refleksans değerleri ile elde edilen katsayı $R^2=0,445$ olarak tespit edilmiştir; vejetasyon indisi değerleri ile en yüksek değer olan $R^2=0,387$, tekstür özellikleriyle ise en yüksek değer $R^2=0,552$ olarak bulunmuştur.

Dube and Mutanga (2015) tarafından yapılan çalışmada, okaliptüs ve çam türlerinin bulunduğu meşcerelerde topraküstü biyokütle tahmin edilme amaçlanmıştır. Uydu görüntüsü olarak Landsat 8 OLI ve Landsat 7 ETM kullanılmıştır. Bu çalışmada, Landsat 7 ETM+ bant değerleri ile en yüksek $R^2=0,43$ değeri elde edilirken, Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün bant değerleri için ise $R^2=0,47$ düzeyinde bir başarı sağlanmıştır. Ayrıca, aynı çalışmada, Landsat 7 ETM+ ile elde edilen vejetasyon indisi değerleriyle en yüksek sonuç $R^2=0,47$, Landsat 8 OLI vejetasyon indisi değerleriyle ise en yüksek sonuç $R^2=0,58$ olarak bulunmuştur.

Günlü vd. (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Karaçam meşcerelerinde topraküstü biyokütle tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Uydu görüntüsü olarak Landsat TM kullanılmıştır. Bant refleksans değeri olarak $R^2=0,465$ ve vejetasyon indisi değeri olarak modelin $R^2=0,606$ olarak belirlenmiştir.

Brice *et al.* (2013) tarafından Kanada'da Yukon bölgesinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışma esnasında lidar ve pankromatik yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır. Çalışmanın amaçları içerisinde bölgede bulunan ağaç boyu, biyokütle ve hacim miktarları modellenmek istenmiştir. Sonuçlara bakıldığında biyokütle için $R^2=0,92$ ağaç boyu tahmini için $R^2=0,76$ ve hacim için tahmin edilen değer $R^2=0,94$ olarak belirlenmiştir.

Hirata *et al.* (2013) tarafından Tayland'da mangrov ormanlarında ağaçlar için, konumsal çözünürlük açısından yüksek uydu verileri ile orman kapallılığı arasındaki allometrik ilişki incelenmiş ve elde edilen model, topraküstü biyokütleyi tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır. Quick-Bird pankromatik ve çok boyutlu veriler, yüksek çözünürlüklü uydu verisi olarak kullanılmıştır. Uydu verileri ile yapılan tahminler ile alandaki yerinde biyokütle verileri arasındaki modelin belirtme katsayısı $R^2=0,65$ olarak bulunmuştur.

Baccini *et al.* (2008) tarafından Afrika'da bulunan tropikal ormanlarda topraküstü biyokütle tahmini yapılmıştır. Uydu görüntüsü olarak Modis kullanılmıştır. Yapılan çalışmada regresyon modeli uygulanmış, çapraz doğrulama yöntemi ile yapılan analizlerde topraküstü biyokütlenin varyansının %82 olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte Geoscience Laser Altimetry System (GLAS) den elde edilen lidar verisi ile

yapılan analizler sonucunda topraküstü biyokütle ile yükseklik ölçümleri arasında belirtme katsayısı $R^2=0,90$ olarak belirlenmiştir.

Lu (2005) tarafından topraküstü biyokütleyi tahmin etmek için Landsat TM uydusu kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada tekstür, spektral bant ve spektral bant ile tekstür arasındaki değerler incelenmiştir. Çalışma sonucunda spektral bant için belirtme katsayısı $R^2=0,65-0,7$; tekstür için belirtme katsayıları $R^2=0,23-0,71$ ve tekstür ile spektral bant için yapılan modellemede belirtme katsayısı $R^2=0,5-0,78$ olarak bulunmuştur. Yapılan çalışma sonucunda topraküstü biyokütleyi tahmin etmede tekstürün önemli bir etken olduğu belirlenmiştir.

Zheng *et al.* (2004) tarafından yapraklı ormanlarda Landsat 7 ETM+ uydusu ile yapraklı ormanlarda topraküstü biyokütleyi tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde bant refleksitans için belirtme katsayısı $R^2=0,95$ ve vejetasyon indisi için $R^2=0,86$ değerleri bulunmuştur.

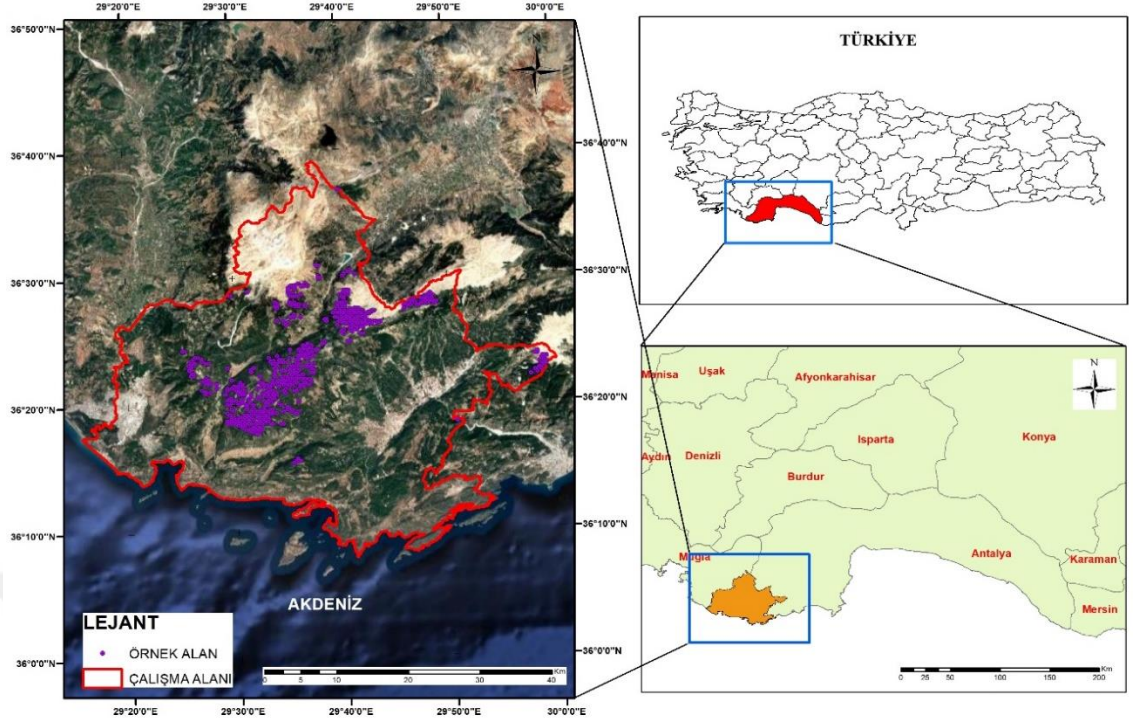
3. MATERYAL VE METOT

3.1 Çalışma Alanının Tanıtımı

Tez çalışması kapsamında çalışma alanı olarak Antalya Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunan Kaş Orman İşletme Müdürlüğü belirlenmiştir (Şekil 3.1). Coğrafi olarak $36^{\circ} 39' 06''$ - $36^{\circ} 07' 22''$ kuzey enlemleri ile $29^{\circ} 44' 17''$ - $29^{\circ} 15' 40''$ doğu boylamında bulunmaktadır. Denizden ortalama yüksekliği 1.034 m olan bu alanda, en yüksek nokta 3.010 m, en alçak nokta ise deniz seviyesi (0 m) olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının toplam yüzölçümü 180.335,70 ha olup, bunun %57'si (114.780,0 ha) ormanlık alan, %43'ü (57.177,50 ha) ise ormansız alanlardan oluşmaktadır. Plan sınırları dahilindeki orman alanın %56'sı (58.305,50 ha) normal koru, %44'ü (56.474,50 ha) ise bozuk korudur. Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklığı $19,6^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiş olup, bu değer bölgenin iklimsel özelliklerini ve bitki örtüsü üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya koymaktadır. Ayrıca, yıllık ortalama yağış miktarı 782,9 mm olarak ölçülmüş olup, bu değer, bölgedeki su dengesi, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem süreçlerinin sürdürülebilirliği açısından belirleyici bir faktör olarak kabul edilmektedir. Bölgedeki bitki örtüsü arasında sedir, karaçam, kızılçam, palamut meşesi, pırnal meşesi, kermes meşesi, ardıç, fıstıkçamı ve okaliptüs türleri yer almaktadır (OGM, 2024).

3.2 Materyal

Çalışma kapsamında; Antalya Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Kaş Orman İşletme Müdürlüğü'ne ait meşcere tipleri haritası, 30.07.2024 tarihli Landsat 8 OLI uydu görüntüsü ve 2024 yılı Haziran-Ağustos dönemi arasında alınan 618 adet örnek alan envanter karnesi verileri materyal olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan veriler, 2024 yılında Kaş Orman İşletme Müdürlüğü'nün orman amenajman planının güncellenmesi amacıyla, orman amenajman heyeti tarafından saf sedir meşcerelerinden toplanan envanter karnesi verileridir.



Şekil 3.1 Çalışma alanının konumu

3.3 Yöntem

3.3.1 Envanter verilerine ilişkin değerlendirmeler

Kaş Orman işletme Müdürlüğü orman amenajman planları 2024 yılı içerisinde envanter çalışmaları yapılmıştır. Bu envanter çalışmaları sonucunda elde edilen verilerden, 618 adet saf sedir meşceresi alınmıştır. Örnek alanların her biri için, envanter karnesinde yer alan ağaçların göğüs çapı ($d_{1.3}$) verileri kullanılmış, her ağacın topraküstü biyokütle (kg) miktarı, aşağıda verilen Denklem 1 ile hesaplanmıştır. Ağaçların topraküstü biyokütle miktarının hesaplanmasında, Durkaya *et al.* (2013) tarafından geliştirilen ve aşağıda sunulan denklem kullanılmıştır. Örnek alan içindeki ağaçların biyokütlelerinin toplamı ile örnek alanın toplam topraküstü biyokütlesi hesaplanmış; örnek alan büyüklükleri (400 m², 600 m² ve 800 m²) göz önünde bulundurularak, biyokütle değerleri hektara dönüştürülmüş ve hektardaki topraküstü biyokütle miktarı hesaplanmıştır.

$$TÜB = 37.21449 + (-8.08322 * d_{1.3}) + (0.644812 * d_{1.3}^2) \quad (1)$$

TÜB (ton): Topraküstü biyokütle

$d_{1.3}$: Envanter karnesinde alınan ağacın göğüs yüzeyindeki çapı (cm)

3.3.2 Landsat8 OLI uydu görüntüsüne ilişkin değerlendirmeler

Bu çalışmada, uydu görüntüsü olarak Landsat 8 OLI kullanılmıştır. İlgili uydu görüntüsü, ücretsiz olarak <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden temin edilmiştir. Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün çözünürlüğü 30 m olup, çalışmada Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 5, Bant 6 ve Bant 7 bantları kullanılmıştır. Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ilişkin bazı temel bilgiler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü bantlarına ait bilgiler

	Bantlar	Dalga boyu (nm)	Konumsal çözünürlük(m)
Landsat 8 OLI	Bant 2 (Mavi)	0,45 – 0,51	30
	Bant 3 (Yeşil)	0,53 – 0,59	30
	Bant 4 (Kırmızı)	0,67 – 0,67	30
	Bant 5 (Kızılötesi)	0,85 – 0,88	30
	Bant 6 (Orta kızılötesi)	1,57 – 1,65	30
	Bant 7 (Termal kızılötesi)	2,11 – 2,29	30

3.3.2.1 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden bant reflektans değerlerinin hesaplanması

Landsat 8 OLI görüntüsü, analiz için ön işleme (atmosferik düzeltme) işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan altı banttaki (Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 5, Bant 6, ve Bant 7) görüntüler, QGIS yazılımı kullanılarak yansıtma (reflektans) görüntülerine dönüştürülmüştür. Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ait bantlar üzerinde örneklem alanları belirlenmiş ve her bir örnek alan için ilgili bantlara ait reflektans değerleri hesaplanmıştır. Örnek alanların bant reflektans değerleri, belirlenen alan büyüklüklerine bağlı olarak hesaplanan buffer zone (400 m² için 11,28 m, 600 m² için 13,82 m, 800 m² için 15,96 m) içindeki piksellerin ortalama değeri alınarak elde

edilmiştir. Bu işlem, ArcGIS 10.5 yazılımı içerisindeki ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Zonal, Zonal Statistics modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.3.2.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak vejetasyon indis değerlerinin elde edilmesi

Örnek alanlar için hesaplanan bant reflektans değerleri kullanılarak hesaplanan vejetasyon indisleri ve ilgili formüller Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Çalışmada kullanılan vejetasyon indis verileri

Vejetasyon indisi	Formül	Kaynak	Vejetasyon indisi	Formül	Kaynak
MID (Middle Infrared Wavelengths)	$(B6 + B7)$	Kaufman and Remer (1994)	GNDVI (Green Norm. Diff. Veg. Index)	$(B05 - B03) / (B05 + B03)$	Gitelson et al. (1996)
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$(B5 - B4) / (B5 + B4)$	Rouse et al. (1974)	NDWI (Norm. Diff. Water Index)	$(B5 - B6) / (B5 + B6)$	McFeeters (1996)
MSI (Moisture Stress Index)	$(B6 / B5)$	Hunt and Rock (1989)	MSR (Modified Simple Ratio)	$((B5 / B4) - 1) / \sqrt{((B5 / B4) + 1)}$	Chen (1996)
NDMI (Norm. Difference Moisture Index)	$(B5 - B6) / (B5 + B6)$	Hardisky et al. (1983)	NLI (Non-Linear index)	$((B05^2) - B04) / ((B05^2) + B04)$	Goel and Qin (1994)
NBR (Norm. Burn Ratio)	$(B5 - B7) / (B5 + B7)$	Key and Benson (2006)	PSSR (Pigment Specific Simple Ratio)	$(B5 / B4)$	Blackburn (1998)

EVI (Enhanced Vegetation Index)	$2.5 \times ((B5 - B4) / (B5 + 6 \times B4 - 7.5 \times B2 + 1))$	Liu and Huete (1995)	IPVI (Infrared Percentage Veg. Index)	$(B5 / (B5 + B4))$	Crippen (1990)
NBR2 (Norm. Burn Ratio2)	$Swir1 - Swir2 / Swir1 + Swir2$	DeVries <i>et al.</i> (2016)	Albedo	$(B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7)$	Lu <i>et al.</i> (2004)
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$((B5 - B4) / (B5 + B4 + 0.5)) \times (1.5)$	Huete (1988)	RVI (Ratio Vegetation Index)	$(B5 / B4)$	Jordan (1969)
MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)	$(2 \times B5 + 1 - \sqrt{(2 \times B5 + 1)^2 - 8 \times (B5 - B4)}) / 2$	Qi <i>et al.</i> (1994)	EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2)	$2.4 \times (B05 - B04) / (B05 + B04 + 1.0)$	Jiang <i>et al.</i> (2008)
ARVI (Atmosphericall y Resistant Vegetation Index)	$(B5 - 2(B4) + (B3)) / (B5 + 2(B4) - (B3))$	Kaufman and Tanre (1992)	DVI (Difference Vegetation Index)	$(B5 - B4)$	Tucker (1980)
ND32 (Normalized Difference 32)	$(B4 - B3) / (B4 + B3)$	Lu <i>et al.</i> (2004)	MID57 (Middle Infrared Wavelengths 57)	$(B6 + B7)$	Lu <i>et al.</i> (2004)
ND53 (Normalized Difference 53)	$(B6 - B4) / (B6 + B4)$	Lu <i>et al.</i> (2004)	VIS123 (Visible Bands)	$(B2 + B3 + B4)$	Lu <i>et al.</i> (2004)
ND73 (Normalized Difference 73)	$(B7 - B4) / (B7 + B4)$	Lu <i>et al.</i> (2004)			

NDVI: Normalized Edilmiş Bitki İndisi

NR: NIR-RED

DVI: Bitki Ayrım İndisi

SAVI: Toprak Etkisi Azaltılmış Vejetasyon İndisi

IPVI: Kızılötesi yüzde vejetasyon indisi

EVI: Gelişmiş Vejetasyon İndisi

L=0.5

C1=6.0

C2=7.5

3.3.2.3 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden tekstür değerlerinin elde edilmesi

Sekiz farklı tekstür özelliği kullanıldığı bu çalışmada, söz konusu özellikler sırasıyla; mean (M), variance (VAR), homogeneity (HOM), contrast (CON), dissimilarity (DIS), entropy (ENT), second moment (SM) ve correlation (COR) olarak belirlenmiştir. Uydu görüntüsünün her bir bantı için, bu tekstür özellikleri hesaplanmış olup, her bant için 3x3, 5x5, 7x7 ve 9x9 boyutlarında pencereler kullanılarak her bir örnek alana ait tekstür değerleri elde edilmiştir. Bu hesaplamalar, ENVI yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen tekstür özelliklerine ilişkin ayrıntılı bilgiler, Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3 Çalışmada kullanılan bazı tekstür özelliklerine ilişkin semboller

Tekstür Özelliği	Bantlar	Pencere Genişliği			
		3x3	5x5	7x7	9x9
Contrast	Bant2	Bant2 3x3 COR	Bant2 5x5 COR	Bant2 7x7 COR	Bant2 9x9 COR
Correlation	Bant3	Bant3 3x3 CON	Bant3 5x5 CON	Bant3 7x7 CON	Bant3 9x9 CON
Dissimilarity	Bant4	Bant4 3x3 DIS	Bant4 5x5 DIS	Bant4 7x7 DIS	Bant4 9x9 DIS
Entropy	Bant5	Bant5 3x3 HOM	Bant5 5x5 HOM	Bant5 7x7 HOM	Bant5 9x9 HOM
Homogeneity	Bant6	Bant6 3x3 ENT	Bant6 5x5 ENT	Bant6 7x7 ENT	Bant6 9x9 ENT
Mean	Bant7	Bant7 3x3 V	Bant7 5x5 V	Bant7 7x7 V	Bant7 9x9 V
Second Moment					
Variance					

Bant2 2x2 CON: İkinci bantın 3x3 pencere genişliğinde contrast özelliği

Bant3 3x3 COR: Üçüncü bantın 3x3 pencere genişliğinde correlation özelliği

Bant5 5x5 ENT: Beşinci bantın 5x5 pencere genişliğinde entropy özelliği

Bant6 6x6 HOM: Altıncı bantın 6x6 pencere genişliğinde homogeneity özelliği

3.3.3 İstatistiksel analiz

Bu tez çalışmasında, istatistiksel ilişkilerin modellenmesinde çoğul regresyon (stepwise) analizi kullanılmıştır. Modelleme işlemi, SPSS (SPSS Inc., 2020) istatistiksel yazılım programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Uydu görüntüsünden elde edilen bağımsız değişkenler (tekstür, bant reflektans ve vejetasyon indisi) ile bağımlı değişken (topraküstü biyokütle) arasındaki regresyon modelleri oluşturulmuştur. Bağımsız değişkenler (tekstür, bant reflektans ve vejetasyon indisi) ile bağımlı değişken (topraküstü biyokütle) arasındaki ilişkileri tahmin eden regresyon modelinin yapısı aşağıda sunulmuştur (3.1).

Bu tez çalışmasında, toplamda 618 adet envanter karne verisi kullanılmıştır. Bu verilerin %80'i (461 adet), modellerin geliştirilmesinde; doğrulama aşamasında ise karnelerin %20'si (157 adet) kullanılmıştır. Eşleştirilmiş t testi (Paired t-test) modellerin test edilmesinde uygulanmıştır.

$$\text{Topraküstü Biyokütle} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3.1)$$

Bu denklemde; $\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ parametreleri, $X_1, X_2, X_3, \dots X_n$ ise Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden alınan örnek alanlar için hesaplanan vejetasyon indisi, tekstür ve bant reflektans değerlerini gösterirken, ε terimi modeldeki hatayı temsil etmektedir.

Landsat 8 OLI uydu verisinde, %95 güven düzeyine sahip bant reflektans değerleri, vejetasyon indisleri ve tekstür özellikleri kombinasyonları kullanılarak, anlamlı model seçenekleri istatistiksel olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsüne İlişkin Bulgular

4.1.1. Bant refleksans değerlerine ilişkin bulgular

Çizelge 4.1 Bant refleksans değerlerine dayalı olarak topraküstü biyokütle tahmininde elde edilen en yüksek doğruluk oranına sahip model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	-1532,878	231,516	-6,621	0,000
B7	-4005,718	420,612	-9,524	0,000
B2	9239,289	1315,720	7,022	0,000
B5	361,294	157,229	2,298	0,022
$R^2_{\text{düz}}=0,186$ Sy. x= 78,5729				
TÜB (ton ha-1) = -1532,878 - (4005,718 x B7) + (9239,289 x B2) + (361,294 x B5)				

Çizelge 4.1 incelendiğinde, örnek alanlara ait hesaplanan bağımsız değişkenler (bant refleksans) ile bağımlı değişken (topraküstü biyokütle) arasındaki ilişkiler, çoğul regresyon analizi ile incelenmiştir. Landsat 8 OLI bant refleksans değişkenlerini içeren modelde, modelin belirtme katsayısı $R^2_{\text{düz}}=0,186$ olarak belirlenmiştir.

4.1.2. Vejetasyon indis değerlerine ilişkin bulgular

Çizelge 4.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen vejetasyon indis değerlerine dayalı olarak yapılan tahminlerde elde edilen en yüksek doğruluk oranına sahip model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
	-1741,833	274,132	-6,354	0,000
NBR	756,637	114,644	6,600	0,000
VIS123	2764,687	448,972	6,158	0,000
SARVI	-29,916	8,038	-3,722	0,000
ND32	-1750,603	773,026	-2,265	0,024
$R^2_{\text{düz}}=0,181$ Sy, x=77,5853				

Çizelge 4.2 incelendiğinde, Landsat 8 OLI vejetasyon indisi değişkenlerini içeren modelde belirtme katsayısı $R^2_{düz} = 0,181$ olarak tespit edilmiştir. Bant reflektans değerlerine dayalı olarak elde edilen modelin belirtme katsayısı ile karşılaştırıldığında, vejetasyon indisi değişkenlerini içeren modelde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.1.3. Tekstür değerlerine ilişkin bulgular

Çizelge 4.3 Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans verileri ve vejetasyon indisine dayalı olarak yapılan tahminlerde elde edilen en iyi model sonuçları

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları	Standart hata	t-istatistiği	p
(Constant)	-818,207	216,470	-3,780	,000
DİSSİMİLARİTY_BANT 5_9x9_0 SECOND	311,245	48,806	6,377	,000
MOMENT_BANT6_5x5_ 45	602,959	87,776	6,869	,000
CONTRAST_BANT6_5x 5_90	11,189	3,769	2,969	,003
MEAN_BANT7_3x3_135	-55,630	7,396	-7,522	,000
MEAN_BANT5_3x3_135	10,891	3,935	2,768	,006
CONTRAST_BANT7_3x 3_135 SECOND	8,555	3,448	2,481	,013
MOMENT_BANT6_5x5_ 0	-171,892	91,397	-1,881	,041
ENTROPY_BANT7_5x5_ 135 SECOND	-41,160	10,853	-3,793	,000
MOMENT_BANT5_3x3_ 135	-111,517	22,579	-4,939	,000

HOMEGENEITY_BANT 5_7x7_0	403,770	110,603	3,651	,000
CONTRAST_BANT2_3x 3_0	-93,653	18,451	-5,076	,000
CONTRAST_BANT3_3x 3_45	39,933	9,050	4,412	,000
ENTROPY_BANT6_3x3_ 45	57,301	14,383	3,984	,000
SECOND MOMENT_BANT6_7x7_ 0	-609,547	107,459	-5,672	,000
MEAN_BANT3_5x5_0	66,555	13,570	4,904	,000
VARIANCE_BANT7_3x3 _135	23,711	7,260	3,266	,001
ENTROPY_BANT4_9x9_ 135	62,047	12,114	5,122	,000
VARIANCE_BANT3_5x5 _0	-64,287	19,624	-3,276	,001
ENTROPY_BANT6_9x9_ 0	-101,327	21,067	-4,810	,000
SECOND MOMENT_BANT4_5x5_ 0	76,274	22,202	3,435	,001
CORRELATION_BANT5 _9x9_0	97,142	27,513	3,531	,000
CONTRAST_BANT6_7x 7_0	12,265	5,103	2,404	,017
CORRELATION_BANT6 _9x9_45	-64,236	20,608	-3,117	,002
CORRELATION_BANT5 _5x5_0	-36,342	16,366	-2,221	,027
ENTROPY_BANT6_3x3_ 135	-33,199	10,317	-3,218	,001
CORRELATION_BANT2 _5x5_135	-24,963	8,840	-2,824	,005
CORRELATION_BANT3 _3x3_135	-24,898	7,475	-3,331	,001

CORRELATION_BANT3 _3x3_90	21,773	8,299	2,623	,009
CORRELATION_BANT4 _9x9_0	46,584	20,252	2,300	,022
HOMEGENEITY_BANT 2_9x9_0	415,695	131,780	3,154	,002
DISSIMILARITY_BANT 2_5x5_0	124,017	54,323	2,283	,023
$R^2_{düz}=0,453$ $S_{y,x}=66,9189$				

Çizelge 4.3 incelendiğinde, Landsat 8 OLI bağımsız değişken (tekstür) değerlerine dayalı değişkenlerin yer aldığı modelde, modelin belirtme katsayısı $R^2_{düz}=0,453$ olarak hesaplanmıştır. Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerlerine dayalı olarak elde edilen modellerin belirtme katsayıları ile karşılaştırıldığında, tekstür değerlerine dayalı modelin belirtme katsayısı daha yüksek bir başarı göstermiştir.

Literatürde yer alan araştırmalar incelendiğinde; uzaktan algılama verileri kullanılarak topraküstü biyokütle tahminlerinde çeşitli modelleme yaklaşımlarının uygulandığı görülmektedir. Bu modelleme yaklaşımlarından en yaygın olarak tercih edileni regresyon analizidir (Baccini *et al.* 2008, Brice *et al.* 2013, Hirata *et al.* 2013, Günlü vd. 2014, Dube and Mutanga 2015, Turgut 2019, Keleş vd. 2021, Güverçin 2022, Işık 2024).

Çeşitli uzaktan algılama verileri kullanılarak topraküstü biyokütle tahminine yönelik birçok araştırma literatürde mevcuttur. Bu araştırmalardan bazıları aşağıda detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Işık (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak saf karaçam meşcerelerinde topraküstü meşcere karbon miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda bant refleksans için belirtme katsayısı $R^2=0,593$; vejetasyon indisi için bulunan belirtme katsayısı $R^2=0,635$; tekstür özellikleri için ise belirtme katsayısı $R^2=0,581$ olarak bulunmuştur.

Güverçin (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, allometrik denklem kullanılarak topraküstü biyokütle değerleri tahmin edilmiştir. Landsat 8 OLI uydu görüntüsü dem ve

Sentinel 1A topraküstü biyokütle verileri arasındaki ilişki çoğul regresyon analizi kullanılarak modellenmiştir. Tekstür, bant refleksans ve vejetasyon indisi arasındaki en yüksek belirtme katsayısı $R^2=0,509$ olarak elde edilmiştir.

Keleş vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen tezde, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu verilerinin birleşik kullanımıyla, çeşitli modelleme teknikleri (regresyon analizi, derin öğrenme ve destek vektör makineleri) aracılığıyla topraküstü meşcere karbon değerleri arasındaki ilişkilerin başarı düzeyleri değerlendirilmiştir. Çalışma bulguları, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu verilerinin entegrasyonunun model başarılarını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur. Destek vektör makineleriyle geliştirilen modelin belirtme katsayısı $R^2=0,877$; derin öğrenme yöntemleriyle oluşturulan modelin R^2 değeri 0,85; regresyon analiziyle oluşturulan modelin ise R^2 değeri 0,748 olarak belirlenmiştir.

Turgut (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, çoklu regresyon analizi ile topraküstü biyokütle tahmin edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda bant refleksans, vejetasyon indisi ve tekstür değerleri için belirtme katsayısı sırasıyla $R^2=0,445-0,387-0,552$ olarak bulunmuştur.

Dube and Mutanga (2015) tarafından yapılan çalışma sonucunda, çam ve okaliptüs türleri için Landsat 8 ve Landsat 7ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak topraküstü biyokütle tahmin edilmiştir. Bant refleksans değerleri için Landsat 7ETM+ uydu görüntüsü için belirtme katsayısı $R^2=0,21$ ve 0,43; Landsat 8 uydu görüntüsü için belirtme katsayısı $R^2=0,30$ ve 0,47; vejetasyon indisi için belirtme katsayısı Landsat 7ETM için $R^2=0,33-0,47$ ve Landsat 8 içinse belirtme katsayısı $R^2=0,36-0,58$ arasında değişmektedir. Ayrıca, her bir uydu görüntüsü için bant ve vejetasyon indisi kombinasyonlarıyla ayrı ayrı modeller geliştirilmiştir.

Günlü vd. (2014) tarafından yapılan tez çalışmasında karaçam ormanlarında Landsat TM uydusu kullanılarak topraküstü biyokütle tahmini yapılmıştır. Bant refleksans değerleri için belirtme katsayısı $R^2=0,465$ ve vejetasyon indisleri için belirtme katsayısı $R^2=0,606$ elde edilmiştir.

Brice *et al.* (2013) yaptığı çalışmada, lidar ve yüksek mekânsal çözünürlüklü veriler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı ormandaki hacim, ağaç boyu ve biyokütle arasında bir modelleme yapaktır. Elde edilen sonuçlara göre, ağaç boyu tahmini için $R^2=0,76$; hacim tahmini için $R^2=0,94$ ve biyokütle tahmini için $R^2=0,92$ değerleri elde edilmiştir.

Hirata *et al.* (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yüksek konumsal çözünürlüğe sahip uydu verileri ile orman kapallılığı arasındaki allometrik ilişki incelenmiş ve bu ilişki, topraküstü biyokütleyi tahmin etmek için kullanılmıştır. Çalışmada uydu görüntüsü için Quick bird kullanılmıştır. Yersel yapılan ölçümler ile uydu verisinde elde edilen veriler ile yapılan çalışmanın sonucunda modelin belirtme katsayısı $R^2=0,65$ olarak belirlenmiştir.

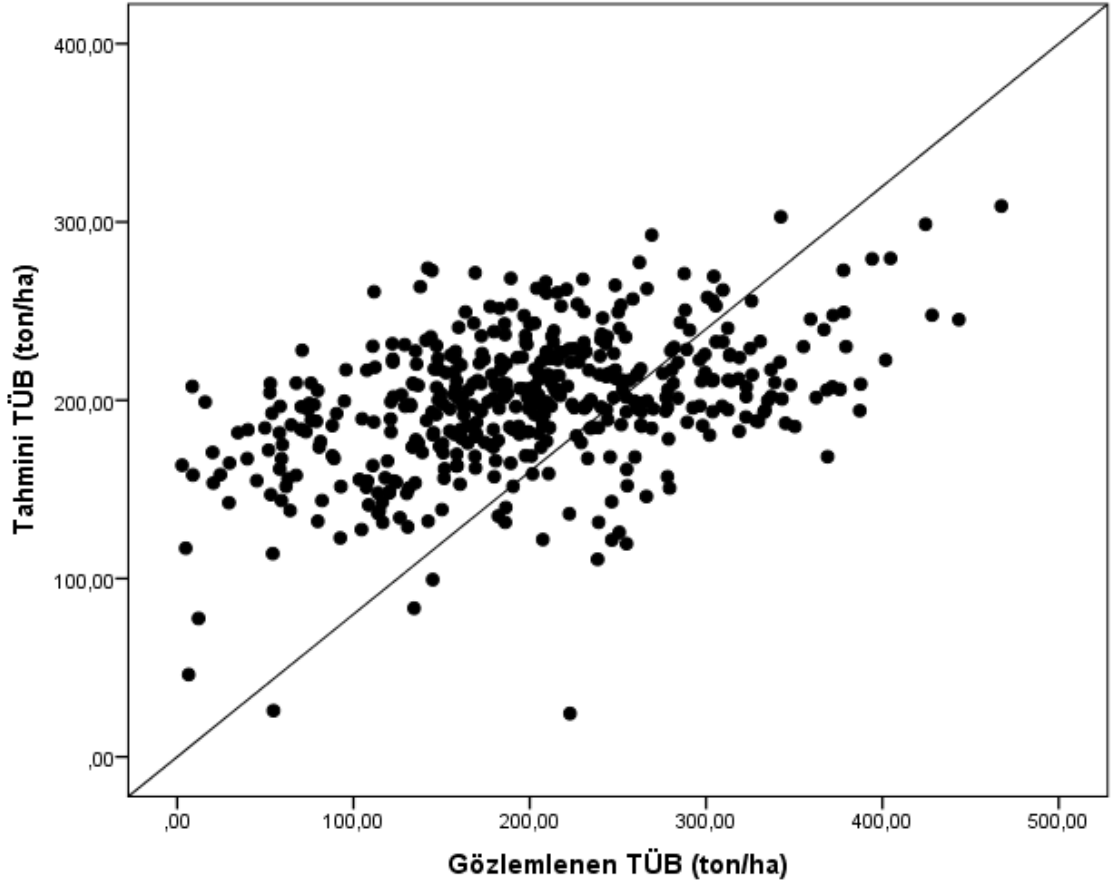
Baccini *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada, Afrika'daki tropikal ormanlarda topraküstü biyokütle tahminini desteklemek amacıyla, orta çözünürlüklü MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) uydu verileri kullanılmış, topraküstü biyokütle varyansının %82 olarak bulunduğu çalışmada çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Yükseklik ölçümleri ile tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki belirtme katsayısı $R^2=0,90$ olarak bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmada;

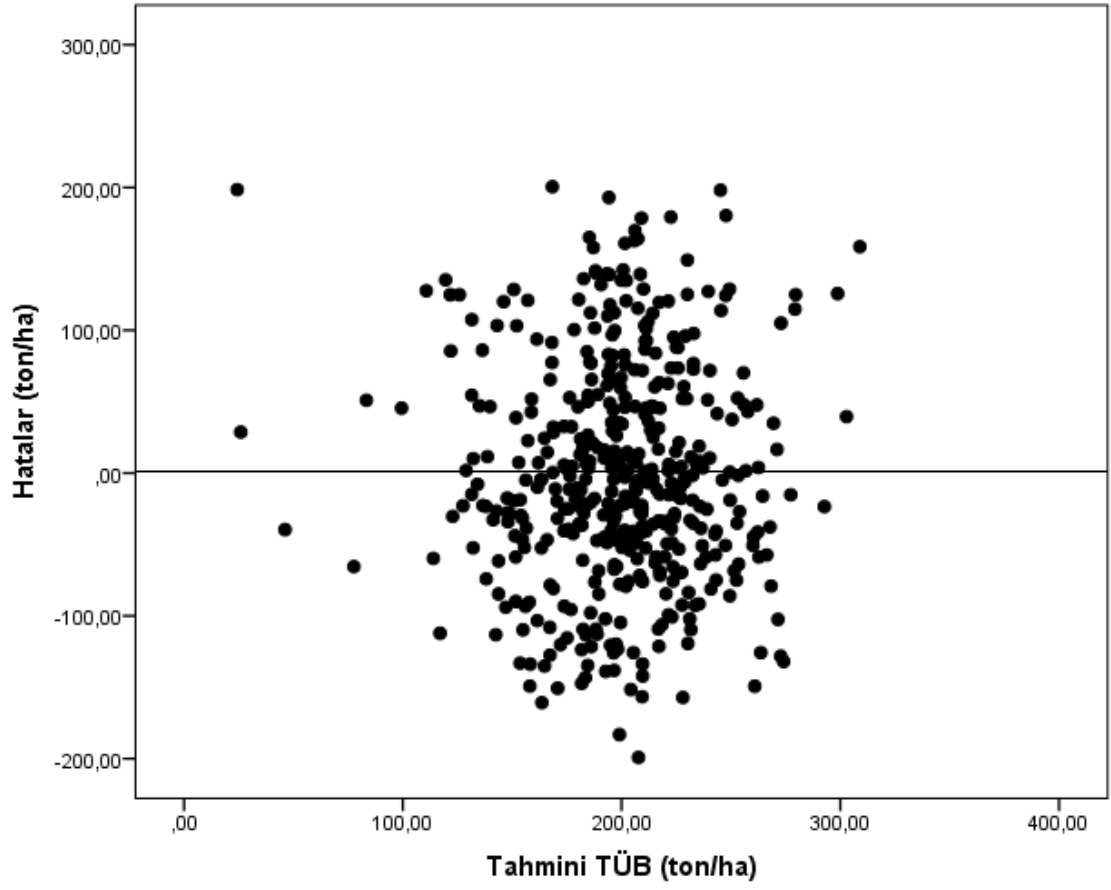
Topraküstü biyokütlenin tahminine yönelik olarak bant reflektans değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi Şekil 4.1'de sunulmuştur. Bant reflektans değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki Şekil 4.2'de sunulmuştur.

Vejetasyon indis değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi Şekil 4.3'de sunulmuştur. Vejetasyon indis değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki Şekil 4.4'de sunulmuştur.

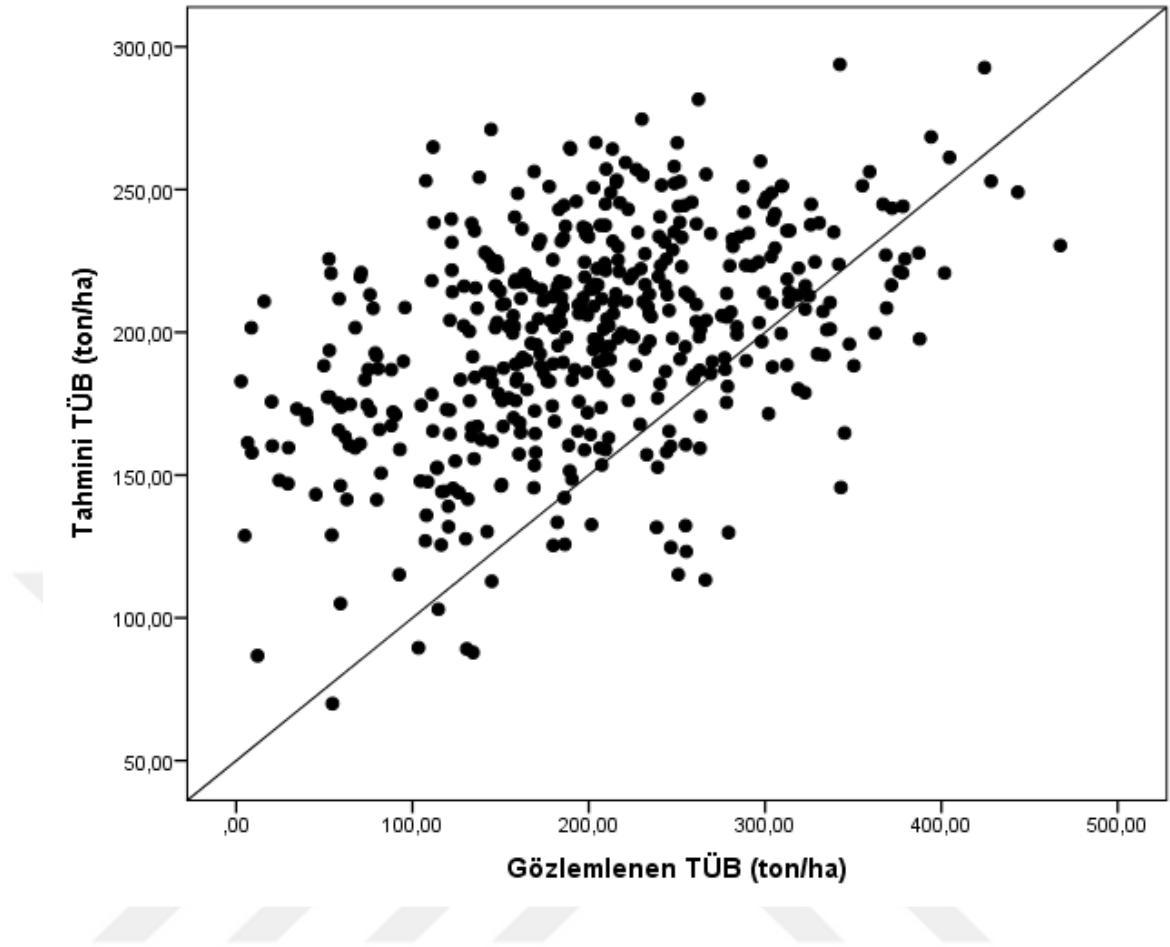
Tekstür değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi Şekil 4.5’de sunulmuştur. Tekstür özelliklerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki Şekil 4.6’da sunulmuştur.



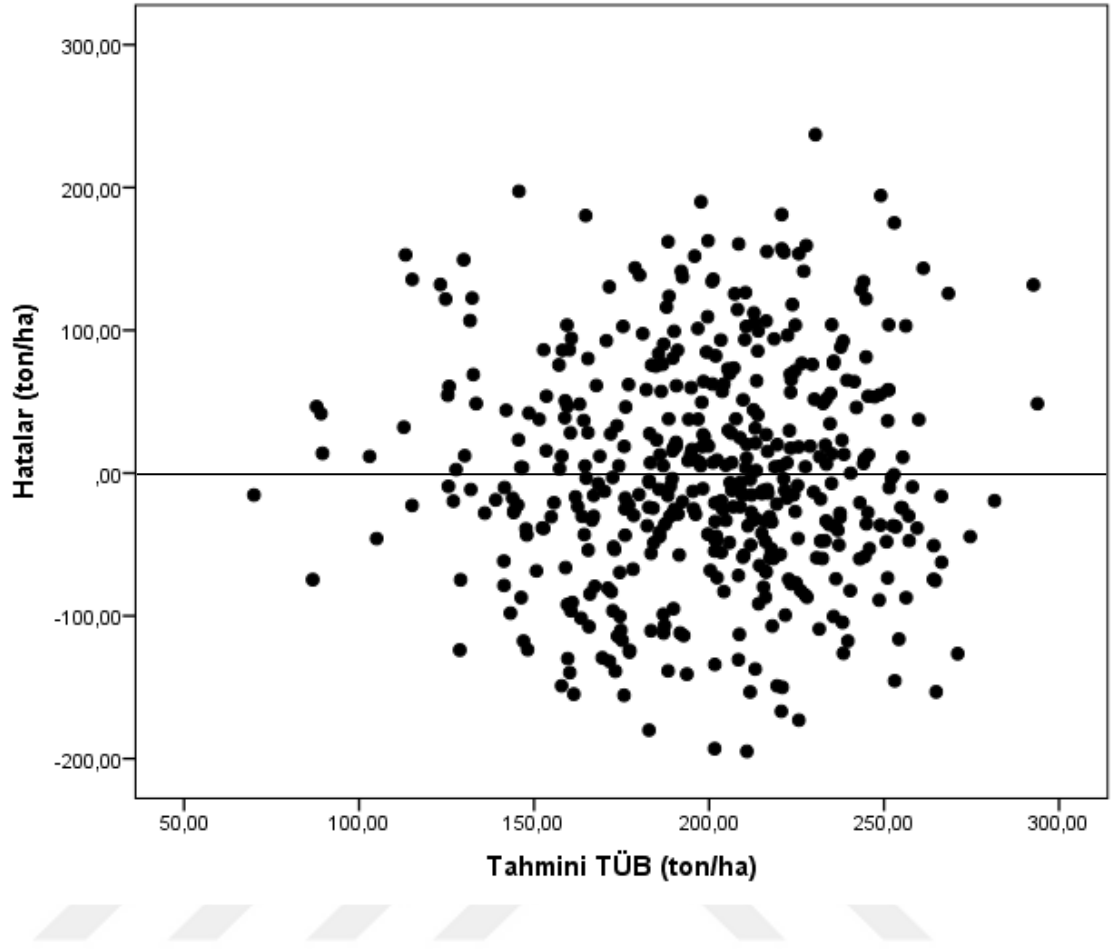
Şekil 4.1 Bant reflektans değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi



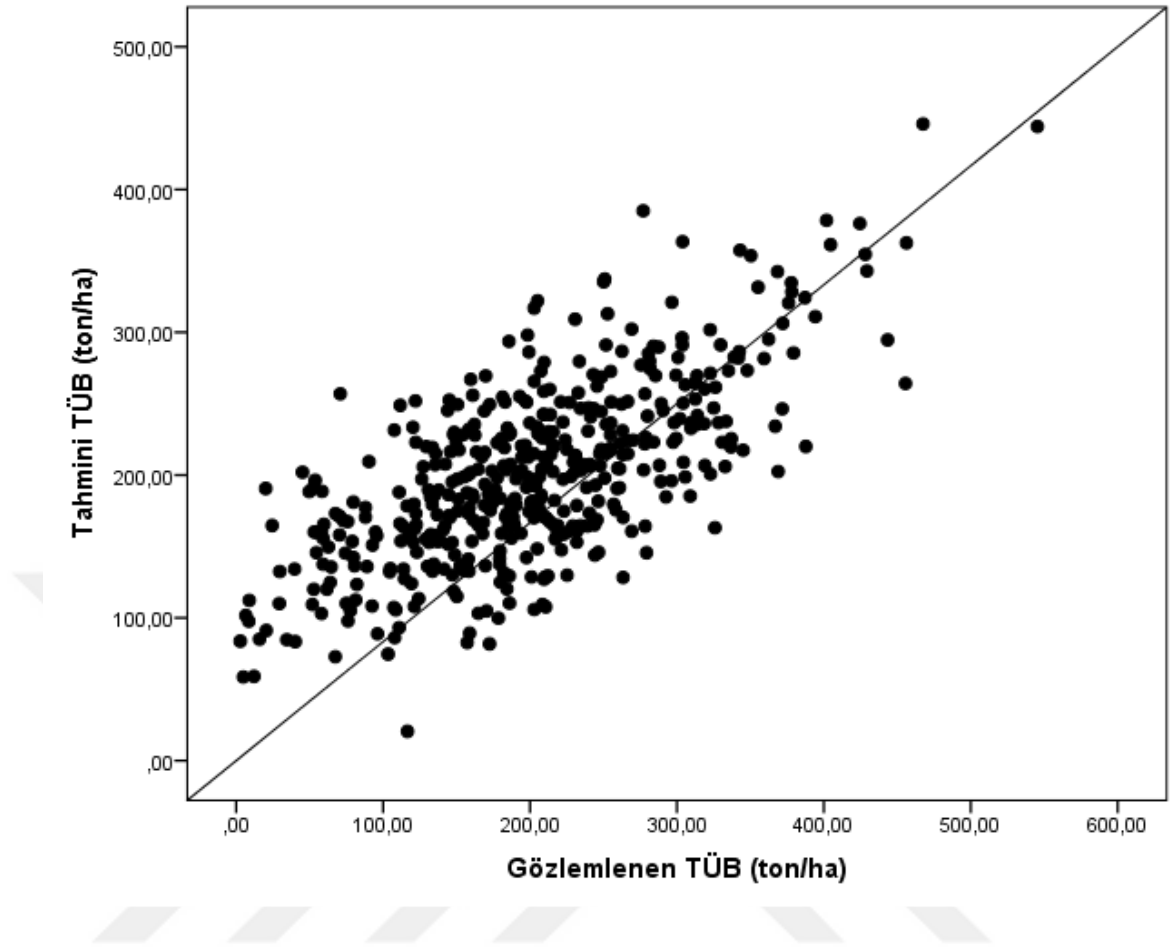
Şekil 4.2 Bant reflektans değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki



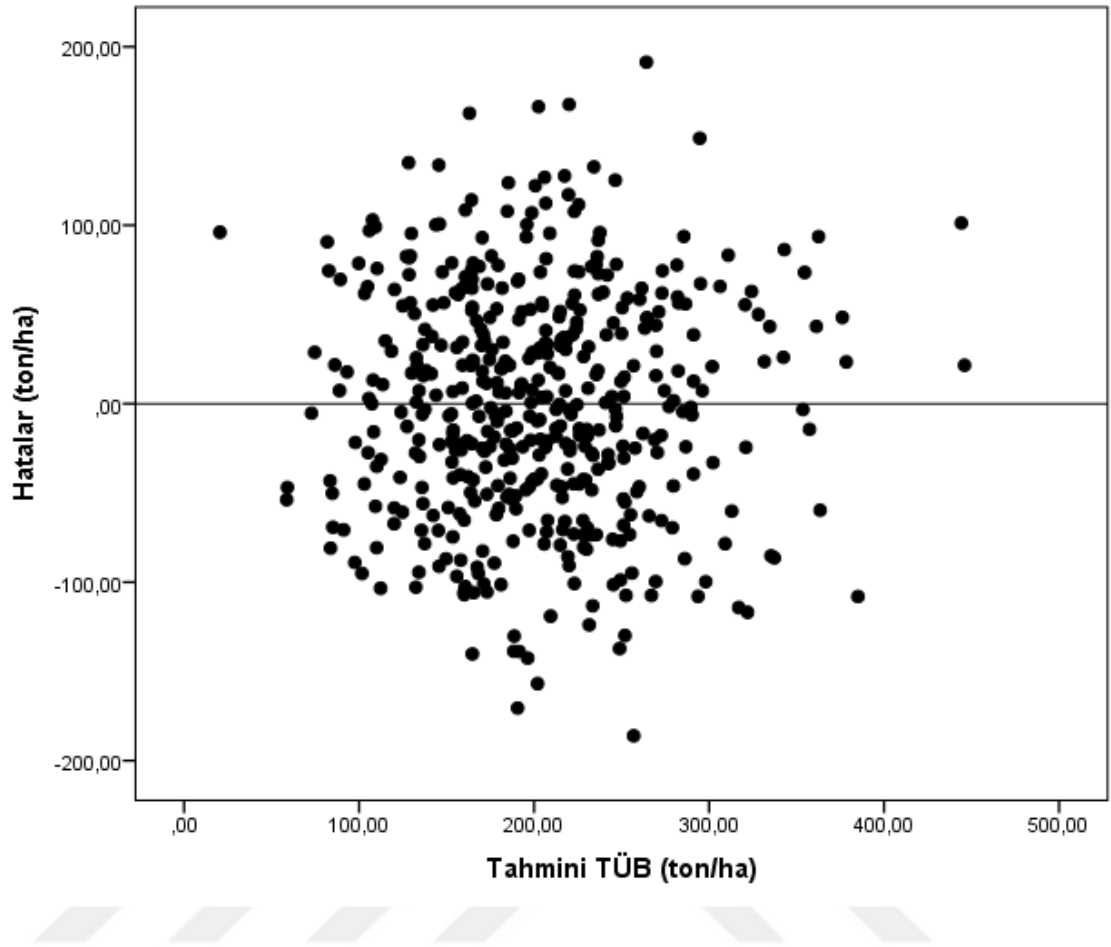
Şekil 4.3 Vejetasyon indis değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi



Şekil 4.4 Vejetasyon indis değerlerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki



Şekil 4.5 Tekstür değerleri kullanılarak geliştirilen modele dayalı tahmin edilen topraküstü biyokütlenin değişimi



  kil 4.6 Tekstür   zelliklerine dayalı olarak geliştirilen model ile elde edilen hata ve tahmin edilen topraküstü biyokütle arasındaki ilişki

Topraküstü biyokütleyi tahmin etmek amacıyla geliştirilen ve tekstür değişkenlerini içeren en başarılı model, bağımsız bir veri seti kullanılarak test edilmiştir. Eşleştirilmiş t (Paired t) testi ile bu modelin, örnekleme yapılan topluma uygunluğu, regresyon modeli ile elde edilen tahminler ve gözlemlenen değerler arasındaki farkı değerlendirmek amacıyla analiz edilmiştir. Paired t-testi ile yapılan analize göre en başarılı regresyon modeli için $t=0,093$, $p=0,926$; tahmin edilen ve gözlenen topraküstü biyokütle değerleri arasında, $\alpha=0,05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Yapılan analiz sonucunda elde edilen bulgular incelendiğinde, tekstür değişkenleri ile geliştirilen regresyon modelinin, çalışmada kullanılan saf sedir meşcerelerine uygun olduğu söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, topraküstü biyokütle ile Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen tekstür özellikleri, vejetasyon indisi ve bant refleksans değerleri arasındaki ilişkileri, çoklu regresyon analizi ile incelenmesi hedeflenmiştir. Bağımsız değişkenler (tekstür, vejetasyon indisi ve bant refleksans) özellikleri kullanılarak üç farklı model geliştirilmiştir. Elde edilen modellerin performansları değerlendirildiğinde, en yüksek başarıyı, tekstür özelliklerinin bağımsız değişken olarak kullanıldığı model elde etmiştir. Bağımsız değişkenler (vejetasyon indisi ve bant refleksans) değerlerinin kullanıldığı modellerde ise benzer sonuç ortaya çıkmıştır.

Literatür taraması sırasında yapılan çalışmalar incelendiğinde, Landsat uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen araştırmalarda model başarısının orta düzeyde olduğu ve tahmin doğruluğunun yeterli seviyelere ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Modellerin düşük başarı sonuçlarına bakıldığında; uydu görüntüsünün çekim zamanı, düzeltme işlemlerinde yapılan hatalar, arazi yapısının özellikleri, görüntünün konumsal çözünürlüğünün düşük çıkması, kullanılan modelleme tekniğine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda model başarılarını arttırmak için yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ve değişik modelleme teknikleri kullanılması başarı yüzdesini yükseltebilir. Bu doğrultuda, topraküstü biyokütlenin tahminine yönelik model başarılarının artırılması için; lidar verilerinden üretilen farklı değişkenlerin, çözünürlüğü yüksek pasif uydu görüntüleri ve uzun dalga boylarına sahip aktif uydu görüntülerinin (P ve L bantları), yapay sinir ağları, derin öğrenme, gibi çeşitli modelleme teknikleriyle birleştirilerek yapılması mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- Aydın-Kandemir, F., 2022, DEÜ FMD 24(70), 165-178.
- Baccini A., Laporte N., Goetz S J., Sun M. and Dong H. 2008. A First Map Of Tropical Africa's Above-Ground Biomass Derived From Satellite Imagery, Environ. Res. Lett. 3 (2008)045011 (9pp).
- Blackburn, G. A. 1998. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves. International Journal of Remote Sensing, 19(4): 657-675.
- Brice M., Wulder M A., White J C. and Hobart G. 2013. " Modeling Stand Height, Volume, and Biomass from Very High Spatial Resolution Satellite Imagery and Samples of Airborne LiDAR", Remote Sens., 5, 2308-2326; doi:10.3390/rs5052308.
- Chen, J. M. 1996. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. Canadian Journal of Remote Sensing, 22(3): 229-242.
- Crippen, R. E. 1990. Calculating the vegetation index faster. Remote Sensing of Environment, 34: 71-73.
- DeVries, B., Pratihast, A. K., Verbesselt, J., Kooistra, L., and Herold, M. 2016. Characterizing forest change using community-based monitoring data and Landsat time series. PloS one, 11(3): e0147121.
- Dixon, R.K., Trexler, M.C., Wisniewski, J., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263, 185-190.
- Dube, T., And Mutanga, O. 2015. Evaluating the utility of the medium-spatial resolution Landsat 8 multispectral sensor in quantifying aboveground biomass in Umgeni catchment, South Africa. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 101: 36-46.
- Durkaya, B., Durkaya, A., Makineci, E., Ülküdür, M. 2013 "Estimation of above-ground biomass in different forest ecosystems of Turkey", Forest Systems, 6; Sayfa 278-284.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., and 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.

- 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., Ercanli İ., Başkent E.Z., Çakır G., 2014. Estimating Aboveground Biomass Using Landsat TM Imagery: A Case Study of Anatolian Crimean Pine Forests in Turkey. *Ann. For. Res.* 57(2): 289-298.
- Güverçin, İ. 2024 Saf Kızılçam Meşcerelerinde Sentinel-1A ve Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü Kullanılarak Topraküstü Biyokütlenin Tahmin Edilmesi Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hardisky, M.A., Klemas, V. and Smart, R.M. 1983. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49: 77 – 83.
- Hirata Y., Tabuchi R., Patanaponpaiboon P., 2014. “Estimation of Aboveground Biomass in Mangrove Forests Using High-Resolution Satellite Data” *J For Res* 19:34–41 DOI 10.1007/s10310-013-0402-5.
- Huete, A. A. 1988. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 25: 295–309.
- Hunt Jr, E.R. and 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.
- Işık, S. 2024 Saf Karaçam Ormanlarında Topraküstü Meşcere Karbon Miktarının Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi
- Jiang, Z.Y., Huete, A.R., Didan, K. and Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112(10): 3833–3845.
- Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*, 50: 663–666.
- Kaufman, Y. J., and Remer, L. A. 1994. Detection of forests using mid-IR reflectance: an application for aerosol studies. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 32(3): 672-683.
- Kaufman, Y.J. and Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2): 261-270.

- Keleş, S., Günlü, A., and Ercanli, İ. 2021. Estimating aboveground stand carbon by combining Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite data: a case study from Turkey. In Forest Resources Resilience and Conflicts pp. 117-126, Elsevier.
- Liu, H.Q. and Huete, A. 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 33(2): 457-465.
- Lu, D. 2005. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. International journal of remote sensing, 26(12):, 2509-2525.
- Lu, D.; Mausel, P.; Batistella, M.; Moran, E. 2004. Comparison of Land-Cover Classification Methods in the Brazilian Amazon Basin. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 70: 723-731.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, International Journal of Remote Sensing, 17(7): 1425–1432.
- OGM, 2024. Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı verileri.
- Qi, J., Chehbouni, A.L., Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, S., 1994. A modified soil adjusted vegetation index (MSAVI). Remote Sensing of Environment 48: 119–126.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Shell, J.A. and Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS-I. Proceedings, 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, 1: 309-317.
- Saraçoğlu, Ö. 1988. Karadeniz Yöresi Gökmar Meşcerelerinde Artım ve Büyüme. Orman Genel Müdürlüğü Yayınları, İstanbul, 312 sayfa, İstanbul.
- Sun, O., Uğurlu, S. ve Özer, E. 1980. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Türüne Ait Biyolojik Kütlenin Saptanması, OAE Yayınları Teknik Bülten Serisi, No 104, 32 sayfa, Ankara.
- Tucker, C.J. 1980. A spectral method for determining the percentage of green herbage material in clipped sample. Remote Sensing of Environment, 9(2): 175–181.
- Turgut, R. 2019. LANDSAT 8 OLI Uydu Görüntüsü Kullanılarak Saf Karaçam Meşcerelerinde Topraküstü Biyokütlenin tahmin edilmesi Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yaltırık, F. 2000. Türkiye'nin Ormanları ve Orman Ağaçları. Türk Ormancılık Derneği Yayını.

Zheng, D., Rademacher, J., Chen, J., Crow, T., Bresee, M., Le Moine, J., and Ryu, S. R. 2004. Estimating aboveground biomass using Landsat 7 ETM+ data across a managed landscape in northern Wisconsin, USA. Remote sensing of environment, 93(3): 402-411.



