

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**SAF SARIÇAM (*Pinus sylvestris* L.) MEŞCERELERİNDE LANDSAT
8 OLİ UYDU GÖRÜNTÜSÜ YARDIMIYLA TOPRAKÜSTÜ
KARBON DEPOLAMA MİKTARININ BELİRLENMESİ
(ALADAĞ ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ ÖRNEĞİ)**

SEDAT IŞIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOÇ. DR. OYTUN EMRE SAKICI

HAZİRAN - 2024

KASTAMONU

TEZ ONAYI

Sedat IŞIK tarafından hazırlanan “Saf Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü Yardımıyla Topraküstü Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi (Aladağ Orman İşletme Şefliği Örneği)” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **27.06.2024** tarihinde yapılmıő olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Fatih SİVRİKAYA Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ Çankırı Karatekin Üniversitesi

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Doç. Dr. Selçuk MEMİŐ

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Sedat IŞIK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAF SARIÇAM (*Pinus sylvestris* L.) MEŞCERELERİNDE LANDSAT 8 OLI UYDU GÖRÜNTÜSÜ YARDIMIYLA TOPRAKÜSTÜ KARBON DEPOLAMA MİKTARININ BELİRLENMESİ (ALADAĞ ORMAN İŞLETME ŞEFLİĞİ ÖRNEĞİ)

SEDAT IŞIK

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DOÇ. DR OYTUN EMRE SAKICI

Bu çalışmada, Aladağ Orman İşletme Şefliğinde yayılış gösteren saf sarıçam meşcerelerinde topraküstü karbon miktarının uzaktan algılama verileri yardımıyla modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında bulunan farklı gelişim çağı ve kapalılık sınıflarındaki saf sarıçam meşcerelerinden alınmış olan örnek alanlarda yapılan yersel ölçümlerden yararlanılarak örnek alanların topraküstü karbon miktarları hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan uzaktan algılama verileri (bant reflektans değerleri ve vejetasyon indisleri) ise Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak elde edilmiştir. Topraküstü karbon miktarları ile uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkiler Korelasyon Analizi ile ortaya konulmuş ve Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla da topraküstü karbon miktarı tahmin modelleri geliştirilmiştir. Modellerin geliştirilmesi aşamasında, modele dahil edilen bağımsız değişkenlere bağlı olarak yalnızca bant reflektans değerlerinin, bant reflektans değerleri ile topografik verilerin, yalnızca vejetasyon indislerinin ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin bağımsız değişken olarak kullanıldığı dört farklı model yapısı için başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Model başarılarının ortaya konulmasında Düzeltmiş Belirtme Katsayısı (R_d^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) olmak üzere üç farklı istatistiksel ölçütten yararlanılmıştır. En başarılı modeller; yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı model yapısı için M3 ($R_d^2=0,593$), bant reflektans değerleri ile topografik verilerin birlikte kullanıldığı model yapısı için M6 ($R_d^2=0,581$), yalnızca vejetasyon indislerinin kullanıldığı model yapısı için M12 ($R_d^2=0,632$) ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin birlikte kullanıldığı model yapısı için M13 ($R_d^2=0,576$) olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: İklim değişikliği, Biyokütle, *Pinus sylvestris*, Modelleme

Haziran 2024, 40 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

ESTIMATING ABOVEGROUND CARBON STOCK USING LANDSAT 8 OLI SATELLITE IMAGE IN PURE SCOTS PINE (*Pinus sylvestris* L.) STANDS (A CASE STUDY OF ALADAĞ PLANNING UNIT)

SEDAT IŞIK

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF FOREST ENGINEERING
SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. OYTUN EMRE SAKICI

In this study, modeling the amount of aboveground carbon in pure Scots pine stands distributed in Aladağ Forest Planning Unit using remote sensing data was aimed. The aboveground carbon amounts of the sample plots were calculated using field measurements made in sample plot taken from pure Scots pine stands of different development ages and canopy classes in the study area. The remote sensing data (band reflectance values and vegetation indices) used in the study were obtained from the Landsat 8 OLI satellite image. The relationships between aboveground carbon amounts and remote sensing data were examined with Correlation Analysis, and aboveground carbon amount estimation models were developed with Stepwise Regression Analysis. Depending on the independent variables included in the model, successful results were obtained for four different model structures in which only band reflectance values, band reflectance values and topographic data, only vegetation indices, and band reflectance values and vegetation indices were used as independent variables. Adjusted Coefficient of Determination (R_a^2), Root Mean Squared Error ($RMSE$) and Akaike Information Criterion (AIC) were used to reveal the model performances. The most successful models were M3 ($R_a^2=0,593$) for the model structure including only band reflectance values are used, M6 ($R_a^2=0,581$) for the model structure including band reflectance values and topographic data together, M12 ($R_a^2=0,632$) for the model structure including only vegetation indices. and M13 ($R_a^2=0,576$) for the model structure including band reflectance values and vegetation indices together.

KEYWORDS: Climate change, Biomass, *Pinus sylvestris*, Modeling

June 2024, 40 Pages

TEŞEKKÜR

“Saf Sariçam (*Pinus sylvestris* L.) Meőşcerelerinde Landsat 8 OLI Uydu Görüntüsü Yardımıyla Topraküstü Karbon Depolama Miktarının Belirlenmesi (Aladağ Orman İşletme Şefliği Örneği)” adlı bu alıőma Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne “Yüksek Lisans Tezi” olarak sunulmuştur.

Çalıőmamın her aşamasında yardım ve desteğini gördüğüm danışman hocam Sayın Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI’ya sonsuz Őükranlarımı sunarım. Ayrıca, değerli fikir ve görüşlerinden yararlandığım ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Alkan GÜNLÜ, Dr. Öğr. Üyesi Alper BULUT ve Arş. Gör. Döndü DEMİREL hocalarıma teşekkür ederim.

Bu alıőma için gerekli envanter verilerinin temininde sağladıkları desteklerden ötürü Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı’na teşekkürlerimi sunarım.

SEDAT İŐIK

Kastamonu, 2024

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	9
2.1 Materyal	9
2.1.1 Çalışma Alanı	9
2.1.2 Yersel Ölçüm Verileri.....	11
2.1.3 Uzaktan Algılama Verileri.....	12
2.2 Yöntem.....	13
2.2.1 Yersel Ölçüm Verileri Yardımıyla Topraküstü Karbon Miktarlarının Hesaplanması.....	14
2.2.2 Uzaktan Algılama Verilerinin Elde Edilmesi	15
2.2.3 Topraküstü Karbon Miktarının Uzaktan Algılama Verileri ile Modellenmesi.....	19
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Çalışma alanının konumu	10
Şekil 2.2 Örnek alanların çalışma alanına dağılımı	12
Şekil 3.1 Geliştirilen en başarılı modellere ilişkin ölçüm-tahmin karşılaştırma grafikleri.....	29
Şekil 3.2 Geliştirilen en başarılı modellere ilişkin hata grafikleri	29



TABLolar DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Çalışmanın yürütüldüğü saf sarıçam meşcerelerine ait alan (ha) dökümü.....	11
Tablo 2.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ilişkin temel bilgiler.....	13
Tablo 2.3 Örnek alanların meşcere tiplerine dağılımı.....	15
Tablo 2.4 Örnek alanların topraküstü karbon miktarlarına ilişkin istatistiksel değerler.....	15
Tablo 2.5 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan vejetasyon indisleri.....	16
Tablo 2.6 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü ile elde edilen uzaktan algılama verileri	17
Tablo 2.7 Bant reflektans değerlerine ilişkin istatistiksel değerler	17
Tablo 2.8 Vejetasyon indisi değerlerine ilişkin istatistiksel değerler	18
Tablo 2.9 Topografik verilere ilişkin istatistiksel değerler	18
Tablo 3.1 TÜK miktarı ile uzaktan algılama verileri arasındaki korelasyonlar.....	22
Tablo 3.2 Bant reflektans değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları	23
Tablo 3.3 Bant reflektans değerleri ve topografik verilerle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları	24
Tablo 3.4 Vejetasyon indisi değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları	25
Tablo 3.5 Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları	25
Tablo 3.6 Geliştirilen modellere ilişkin <i>t</i> -testi sonuçları.....	27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ha	: hektar
°C	: santigrat derece
m	: metre
cm	: santimetre
d_{1,3}	: göğüs yüksekliği çapı
TÜB	: topraküstü biyokütle
TÜK	: topraküstü karbon

Kısaltmalar

OİŞ	: Orman İşletme Şefliği
OLI	: Operational Land Imager
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Ormancılık, doğal orman kaynaklarının korunması, yönetimi ve sürdürülebilir kullanımı ile ilgilenen bir bilim dalıdır. Bu disiplin, toplumun çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ekolojik, ekonomik, sosyo-kültürel ve teknik uygulamaları içermektedir. FAO'ya (2015) göre ormancılık, biyolojik çeşitliliğin korunması ve karbon döngüsünün düzenlenmesi gibi çevresel hizmetler sunarak ekosistem sağlığını destekler. Ayrıca, ormanların sağladığı odun ve odun dışı ürün ve hizmetlerin sürdürülebilir bir şekilde temin edilmesi de ormancılığın temel hedeflerindedir (FAO, 2015). Ormancılık uygulamaları, orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve korunması için çeşitli strateji ve teknikleri kapsar. Bu uygulamalar, uzun vadeli planlama gerektiren ve oldukça geniş alanları kapsayan faaliyetlerdir (Eraslan, 1982). Toplumun beslenme, barınma, yakıt ve rekreasyon gibi çok çeşitli ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel ihtiyaçlarını karşılayan ormanlar dünya yüzölçümünün yaklaşık %30'unu ve Türkiye yüzölçümünün %29,7'sini (23,2 milyon ha) kaplamaktadır (OGM, 2024). Söz konusu ormanların, sundukları ürün ve hizmetlerin sürdürülebilirliği için süreklilik ilkelerine göre işletilmeleri gerekmektedir.

Ormanlar zamana bağlı olarak değişim gösteren dinamik ekosistemlerdir ve bu dinamik yapının anlaşılabilmesi için istatistiksel karakteristiklerinin ortaya konulması gerekmektedir. Sürdürülebilirlik ilkesine uygun sonuçların alınabilmesi için ormancılık planlamasına konu bu bilgilerin güncel ve güvenilir olması gerekmektedir. Bu bilgilerin kaynağı olan orman envanteri, ormanların planlanmasında büyük öneme sahiptir (Köhl, 2004; Laar ve Akça, 2007; Sakıcı, 2009).

Türkiye ormanlarının tamamına yakını devlet mülkiyeti altında olup, bu ormanlar orman amenajman planları yardımıyla işletilmektedir ve bu planlar orman ekosisteminden faydalanmanın temel bileşenidir (Kangas vd., 2006; Köhl, 2004; OGM, 2011; Schreuder vd., 1993). Orman amenajman planlarının hazırlanmasının ön aşamalarından biri olan ağaç serveti ve artım envanteri; ormanın aktüel ağaç servetinin çeşitli meşcere özelliklerine (ağaç türü, gelişim çağı, yaş sınıfı ve kapallık sınıfı) göre tespit edilmesi olarak tanımlanabilir. Ülkemizde uygulanan orman envanter

faaliyetlerinde en maliyetli ve en zaman alıcı unsur, birim alandaki hacim ve hacim artırımının belirlenmesidir. Meşcerelerin hacminin tam alan ölçümü ile ortaya konulması gerek maliyet ve gerekse zaman açısından neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, orman envanter faaliyetlerinde tam alan ölçümü yerine örnekleme tercih edilmektedir (Kalıpsız, 1999; Sakıcı, 2009). Örnekleme çalışmalarında kullanılan yaygın yöntem yersel ölçümlerdir ve bu yöntem ile doğru ve detaylı bilgiler sağlanabilmektedir. Ancak, söz konusu avantajlarının yanında maliyetinin yüksek olması ve fazla zaman gerektirmesi gibi olumsuz yönleri de sahiptir. Bu nedenle, mümkün olduğunda yersel ölçümlere ek olarak uzaktan algılama verilerinin kullanımı da tercih edilmektedir. Uydu görüntüleri yardımıyla elde edilen bu veriler, orman amenajman planlarının hazırlanması sürecinde özellikle konumsal bilgilerin elde edilmesi ve bu bilgilerin zaman içerisindeki değişiminin ortaya konulması bakımından önemlidir (Demirel, 2022). Ülkemiz orman envanter faaliyetleri de geçmişte yalnızca yersel ölçümlere göre yürütülmüşken, günümüzde çok çeşitli uzaktan algılama teknikleri (uydu görüntüleri, dijital hava fotoğrafları, karasal lazer tarama, Lidar, drone gibi) de orman envanterinde kullanılmaktadır (Ateşoğlu, 2003; Demirel, 2022; Keleş vd., 2021; Özkan ve Demirel, 2018; Sakıcı ve Günlü, 2018). Uzaktan algılama teknikleri, kimi zaman yersel ölçümlere destek amaçlı kimi zaman da yersel ölçümlere alternatif olarak kullanılabilir. Her iki durumda da orman envanterinin maliyetinde önemli azalışlar sağlanabilir.

Türkiye’de ormanlardan çok amaçlı faydalanma ilkesinin yürürlüğe girmesiyle birlikte amenajman planlarının hazırlanabilmesi için gerekli bilgi çeşitliliği de artmıştır. Buna paralel olarak orman envanter maliyetleri de artmıştır. Bu bağlamda, orman envanterinde olabildiğince uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması söz konusu maliyet artışını sınırlı seviyelere indirebilecektir.

Türkiye’de 1963 yılında başlayan planlı ormancılık dönemiyle birlikte orman envanterinde yersel ölçümlerle birlikte hava fotoğraflarının da kullanıldığı kombine envanter yöntemi benimsenmiştir. İlerleyen süreçte, teknolojik gelişmelere paralel olarak arazi kullanımının sınıflandırılmasında, meşcere tiplerinin ayırımında, ormanların karbon depolama kapasitelerinin belirlenmesinde ve çeşitli meşcere özelliklerinin

(meşcere hacmi, meşcere göğüs yüzeyi, ağaç sayısı vb.) tahmin edilmesinde uydu görüntüleri de önemli bir araç haline gelmiştir.

Gerek dünyada ve gerekse ülkemizde çeşitli meşcere parametrelerinin modellenmesinde farklı uydu görüntülerinden (Landsat, SPOT, WorldView, IKONOS, QuickBird, Göktürk-2, ALOS PALSAR, Sentinel-1 ve Sentinel-2 gibi) elde edilen verilerin kullanıldığı çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

Dünya’da ormancılık alanında Landsat uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilmiş bazı çalışmaları içeren literatür özeti aşağıda sunulmuştur.

Lu ve Batistella (2005), Brezilya’nın Amazon ormanlarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında Landsat 5 TM uydu görüntüsünden elde ettikleri tekstür verilerini kullanarak topraküstü biyokütleyi başarılı bir şekilde tahmin etmişlerdir.

Berra vd. (2012) Landsat uydu görüntüsünden elde ettikleri NDVI vejetasyon indisi verilerinden yararlanarak okalıptüs meşcerelerinde meşcere hacmini modellemişlerdir ($R^2=0,610$).

Dos Reis vd. (2018), Landsat TM uydu görüntüsünden elde ettikleri vejetasyon indisleri yardımıyla meşcere hacmini tahmin etmeye çalışmışlar ve meşcere hacmi ile MSAVI ve NDVI indisleri arasında anlamlı korelasyon olduğunu (NDVI için $r=0,490$ ve MSAVI için $r=0,450$) belirlemişlerdir.

Chenge ve Osho (2018), Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri çeşitli uzaktan algılama verileri yardımıyla Nijerya’nın Omo bölgesi ormanlarının topraküstü biyokütle miktarını tahmin etmek üzere modeller geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerin R^2 değerleri 0,530 ile 0,880 arasında değişmekte olup, en başarılı model bant reflektans ve vejetasyon indislerini birlikte içeren model olmuştur.

Issa vd. (2019), Birleşik Arap Emirlikleri’ndeki palmye ağaçlandırmaları için Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri bant reflektans ve vejetasyon indisi verileri yardımıyla topraküstü biyokütleyi modellemişler ve en başarılı modellerin R^2

değerlerini karışık meşcereler için 0,950 ve yaşlı meşcereler için 0,960 olarak belirlemişlerdir.

Izadi vd. (2020), Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri uzaktan algılama verilerini kullanarak Çoğul Regresyon Analizi, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon ve Random Forest yöntemleri ile çeşitli meşcere özelliklerini (topraküstü biyokütle, göğüs yüzeyi, kapalılık ve ağaç sayısı) tahmin etmeyi amaçladıkları çalışmalarında Coğrafi Ağırlıklı Regresyon yöntemini diğer yöntemlere göre daha başarılı (topraküstü biyokütle, göğüs yüzeyi, kapalılık ve ağaç sayısı için R^2 değerleri sırasıyla 0,550; 0,480; 0,830 ve 0,640) bulmuşlardır.

Li vd. (2020), Çin'in Hunan eyaletinde yayılış gösteren subtropikal ormanların meşcere biyokütlesini tahmin etmek üzere Landsat 8 OLI ve Sentinel-1A uydu görüntülerinden elde ettikleri bant reflektans, vejetasyon indisi, tekstür ve geri yansıtım değerlerini kullanarak Çoğul Regresyon Analizi, Random Forest ve Ekstrem Gradyan Arttırma yöntemlerinden yararlanmışlar ve modelinin Ekstrem Gradyan Arttırma yönteminin topraküstü biyokütle tahmini için etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Nouri vd. (2020), İran'ın Bayangan bölgesindeki ormanlar için meşcere sıklığı, kapalılık ve meşcere göğüs yüzeyi tahmin modellerini geliştirmek üzere Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri vejetasyon indislerinden yararlanmışlardır. Geliştirilen en başarılı modellere ilişkin R^2 değerleri meşcere sıklığı, kapalılık ve meşcere göğüs yüzeyi için sırasıyla 0,860; 0,880 ve 0,850 olmuştur.

Das vd. (2021), Landsat 8 OLI uydu görüntüsü yardımıyla elde ettikleri vejetasyon indisi değerleri yardımıyla Hindistan'ın Arunachal Pradesh bölgesi ormanlarının topraküstü biyokütle tahmin modelleri geliştirmişler ve en başarılı modelin R^2 değeri 0,850 olarak belirlenmiştir.

Sa ve Fan (2023), Landsat 8 OLI ve Sentinel-2A uydu görüntülerinden elde ettikleri bant reflektans, vejetasyon indisi ve tekstür değerleri yardımıyla Çin'in Chengde şehrindeki iğne yapraklı ormanlar için bazı meşcere parametrelerini (kapalılık, sıklık, göğüs yüzeyi ve topraküstü biyokütle) modellemeyi amaçladıkları çalışmalarında

Sentinel-2A uydu görüntüsünden elde edilen uzaktan algılama verileriyle geliştirilen modellerin Landsat 8'den elde edilen verilerle geliştirilen modellerden daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Ülkemizde de Landsat uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verileri ile meşcere özelliklerin tahmin edilmesi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları açıklanmıştır.

İnan (2004), Landsat TM ve Landsat ETM+ uydu görüntüleri yardımıyla meşcere parametrelerini (meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, orta çap ve meşcere orta boyu) tahmin etmeyi amaçladığı çalışmasında vejetasyon indisi ve tekstür değerleri ile meşcere parametreleri arasındaki ilişkileri incelemiş ve tekstür değerlerinin spektral verilerle birlikte kullanılması durumunda modellerin tahmin başarılarının arttığını belirlemiştir.

İnan (2009), Landsat ETM+ uydu görüntüsünden elde ettiği bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri ile bazı meşcere parametreleri (meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, meşcere orta boyu ve meşcere orta çapı gibi) arasındaki ilişkileri incelemiş ve uzaktan algılama verileri ile meşcere parametreleri arasında yüksek korelasyonlar bulmuştur.

Ateşoğlu (2009), Landsat 7 ETM+, SPOT HR-VIR ve ASTER (VNIR) uydu görüntülerinden elde ettiği uzaktan algılama verileri ile meşcere parametrelerini (orta çap, meşcere orta boyu ve meşcere hacmi, ağaç sayısı ve kapalılık) tahmin etmeyi amaçladığı çalışmasında Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsü verileriyle orta çap, meşcere orta boyu ve meşcere hacmi için kuvvetli ilişkiler olduğunu belirlemiştir.

Günlü vd. (2013a), Landsat ETM+ uydu görüntüsünden elde ettikleri vejetasyon indisleri ile bazı meşcere parametrelerini (meşcere hacmi, meşcere göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı) tahmin eden modelleri geliştirmek üzere gerçekleştirdikleri çalışmada meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı modellerinin R^2 değerlerini sırasıyla 0,530; 0,579 ve 0,408 olarak belirlemiştir.

Günlü vd. (2013b), QuickBird ve Landsat 7 ETM uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen uzaktan algılama verilerini kullanarak Ayancık yöresi kayın meşcereleri için

meşcere hacmi tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonuçları, QuickBird uydu görüntüsünden elde edilen verilerle geliştirilen en başarılı modelin tahmin başarısının ($R^2=0,700$), Landsat 7 ETM+ uydu görüntüsünden elde edilen verilerle geliştirilen en başarılı modelin tahmin başarısından ($R^2=0,545$) daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Şenyurt vd. (2013), Landsat 8 uydu görüntüsünden elde ettikleri bant parlaklık değerleri yardımıyla meşcere göğüs yüzeyi, ağaç sayısı ve orta çap arasındaki ilişkileri modellemişler ve R^2 değerlerini sırasıyla 0,655; 0,583 ve 0,493 olarak bulmuşlardır.

Günlü vd. (2014), Landsat TM uydu görüntüsünden elde ettikleri parlaklık ve vejetasyon indisi değerleri yardımıyla meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısını modellemişler ve meşcere hacmi, göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı için R^2 değerlerini sırasıyla 0,706; 0,575 ve 0,781 olarak bulmuşlardır.

Yılmaz vd. (2017), Landsat TM uydu görüntüsünden elde ettikleri bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri yardımıyla meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, orta çap ve ağaç sayısını modellemişler ve R^2 değerlerini sırasıyla 0,587; 0,479; 0,525 ve 0,446 olarak belirlemişlerdir.

Sakıcı ve Günlü (2018), Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri tekstür değerlerini kullanarak Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü saf karaçam meşcereleri için meşcere hacmi, göğüs yüzeyi, orta çap ve ağaç sayısı gibi meşcere parametrelerini tahmin eden modelleri Regresyon Analizi ve Yapay Sinir Ağları yardımıyla geliştirmeyi amaçladıkları çalışmalarında Yapay Sinir Ağlarının daha başarılı sonuçlara sahip olduğunu belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, regresyon modellerinin düşük (orta çap için $R^2=0,399$; göğüs yüzeyi için $R^2=0,337$; meşcere hacmi için $R^2=0,332$ ve ağaç sayısı için $R^2=0,183$) ve Yapay Sinir Ağları modellerinin ise daha yüksek (orta çap için $R^2=0,593$; göğüs yüzeyi için $R^2=0,632$; meşcere hacmi için $R^2=0,650$ ve ağaç sayısı için $R^2=0,610$) belirtme katsayılarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Turgut ve Günlü (2022), Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden yararlanarak biyokütle tahmin modelleri geliştirmeyi amaçladıkları çalışmalarında uzaktan algılama verisi

olarak bant parlaklık, vejetasyon indisi ve tekstür değerlerini kullanmışlar ve tekstür değerlerinin daha yüksek açıklayıcılığa sahip olduğunu ($R^2=0,552$) belirlemişlerdir.

Demirel vd. (2022), Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde ettikleri uzaktan algılama verilerini (bant reflektans değerleri, vejetasyon indisleri ve tekstür değerleri) kullanarak Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla Köşdağ Orman İşletme Şefliği sınırlarında yayılış gösteren sarıçam meşcereleri için ortaçap, meşcere göğüs yüzeyi, meşcere hacmi, ağaç sayısı ve meşcere sıklığı tahmin modelleri geliştirmişlerdir. En başarılı modeller; ortaçap için vejetasyon indislerini ve tekstür değerlerini içeren ($R^2=0,492$), meşcere hacmi için yalnızca tekstür değerlerini içeren ($R^2=0,341$), meşcere göğüs yüzeyi için bant reflektans ve tekstür değerlerini içeren ($R^2=0,342$), ağaç sayısı için vejetasyon indislerini ve tekstür değerlerini içeren ($R^2=0,534$) ve meşcere sıklığı için bant reflektans ve tekstür değerlerini içeren ($R^2=0,424$) modeller olmuştur.

Sivrikaya ve Demirel (2022), Landsat 9 uydu görüntüsünden elde ettikleri NDVI indisini kullanarak Antalya yöresi kızılçam meşcereleri için topraküstü karbonu tahmin etmeye çalışmışlar ve R^2 değerini 0,623 olarak belirlemişlerdir.

Bulut vd. (2023), Landsat 8 OLI ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde ettikleri uzaktan algılama verilerini (bant reflektans değerleri, vejetasyon indisleri ve tekstür değerleri) kullanarak Aşamalı Regresyon Analizi ve yapay zeka teknikleri (Destek Vektör Makinesi ve Derin Öğrenme) yardımıyla Ankara Orman Bölge Müdürlüğü sınırlarındaki karaçam meşcereleri için meşcere hacmi, meşcere göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, ortaçap ve üstboy tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Destek Vektör Makinesi tekniği ile geliştirilen modeller en yüksek tahmin başarısına sahip olurken, Aşamalı Regresyon Analizi ile elde edilen modellerin tahmin başarıları oldukça düşük bulunmuştur.

Güverçin ve Günlü (2023), aktif (Sentinel-1A) ve pasif (Landsat 8 OLI) uydu görüntülerinden elde ettikleri uzaktan algılama verilerini (Sentinel-1A için parlaklık ve geri yansıtım değerleri ve Landsat 8 OLI için bant reflektans, vejetasyon indisi ve tekstür değerleri) kullanarak Anamur Orman İşletme Şefliği kızılçam meşcereleri için

topraküstü biyokütle tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında 22 farklı regresyon modeli geliştirilmiş olup, en başarılı sonuçlar Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans, vejetasyon indisi ve tekstür değerlerini, Sentinel-1A uydu görüntüsünden elde edilen parlaklık değerlerini ve topografik veri olarak da yükselti ve bakıyı içeren model ($R^2=0,509$) ile elde edilmiştir.

Şahan (2024), Elekçanı Orman İşletme Şefliği saf karaçam meşcerlerinde topraküstü karbon tahmin modellerini geliştirmeyi amaçladığı çalışmasında Landsat 5 TM uydu görüntüsünden elde ettikleri bant yansıma ve vejetasyon indisi değerlerini kullanmış ve en başarılı modelin R^2 değerini sırasıyla 0,655 olarak elde etmiştir.

Bu çalışma, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Aladağ Orman İşletme Müdürlüğü'nün Aladağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren saf sarıçam meşcereleri için Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indisi değerlerinin topraküstü karbon miktarlarının tahmininde kullanılabilirliğinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla, farklı model yapıları dikkate alınarak topraküstü karbon miktarının bağımlı değişken ve uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verilerinin de bağımsız değişken olarak yer aldığı regresyon denklemleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

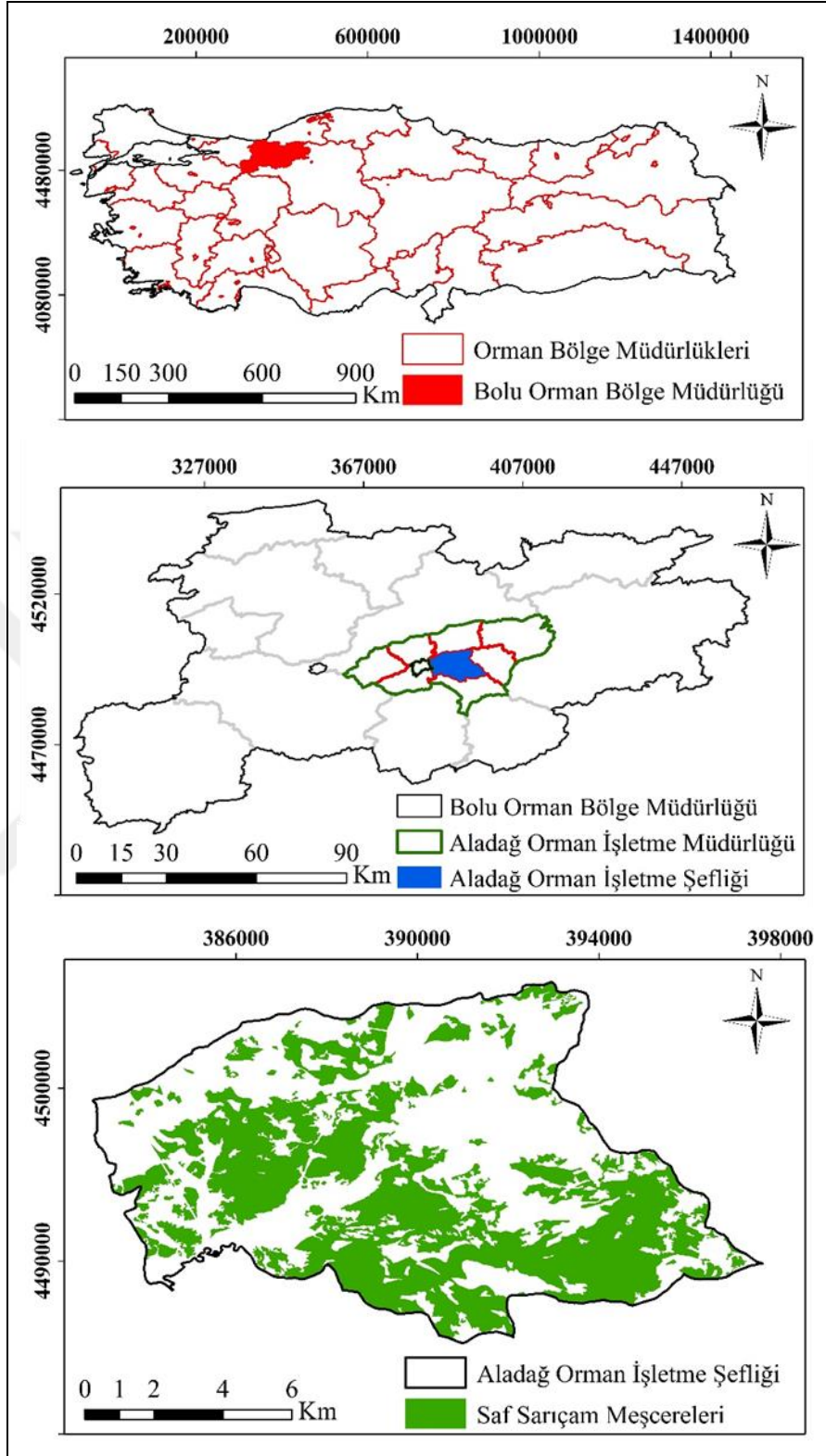
2.1 Materyal

2.1.1 Çalışma Alanı

Bolu Orman Bölge Müdürlüğü sınırları içerisindeki Aladağ Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Aladağ Orman İşletme Şefliği'nde (OİŞ) 2018 yılında yürütülen orman envanter çalışmaları ile belirlenen ve güncel (2019-2038 yılları için) orman amenajman planında sunulan alan döküm tablosuna göre, çalışma alanı olarak kararlaştırılan Aladağ OİŞ 8.990,6 ha orman ve 161,2 ha orman dışı alan olmak üzere toplam 9.151,8 ha alana sahiptir. Orman alanlarının 7.745 ha'ı (%86,1) ağaçlık alanlardan ve 1.245,6 ha'ı (%13,9) ağaçsız orman alanlarından oluşmaktadır. Ağaçlık orman alanlarının ise %98,4'ü (7.620,4 ha) normal ve %1,6'sı (124,6 ha) boşluklu kapalı orman niteliğindedir ve normal kapalı ormanların da %60,8'i (4.635,6 ha) saf ve %39,2'si (2.984,8 ha) karışık meşcerelerden ibarettir.

Aladağ OİŞ sınırları içerisinde yer alan normal kapalı ormanların çoğunluğu (%91,7, 6.968,2 ha) saf (3.983,4 ha) veya göknar ile karışık (2.984,8 ha) sarıçam meşcerelerinden oluşmaktadır ve geriye kalan normal kapalı ormanlar ise saf göknar (%8,3, 652,2 ha) meşcereleri niteliğindedir. Bu çalışma, Aladağ OİŞ sınırlarında yayılış gösteren normal kapalı, saf, eşityaşlı ve tek tabakalı kuruluşa sahip sarıçam meşcerelerinde yürütülmüş olup (Şekil 2.1), çalışmaya konu meşcerelerin meşcere tiplerine dağılımı Tablo 2.1'de verilmiştir.

Çalışma alanı olarak belirlenen Aladağ OİŞ konum itibarıyla 383000-397000 doğu boylamları ile 4490000-4510000 kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (WGS84 Zon 36). Çalışma alanının yükseltisi ise 1330 m ile 2.155 m arasında değişmekte olup, ortalama yükselti 1534 m'dir. Çalışma alanının ortalama eğimi ise %16 civarındadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre 1929-2023 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık 10,5 °C ve yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 555,4 mm'dir (URL-1, 2024).



Şekil 2.1 Çalışma alanının konumu

Tablo 2.1 Çalışmanın yürütüldüğü saf sarıçam meşcerelerine ait alan (ha) dökümü

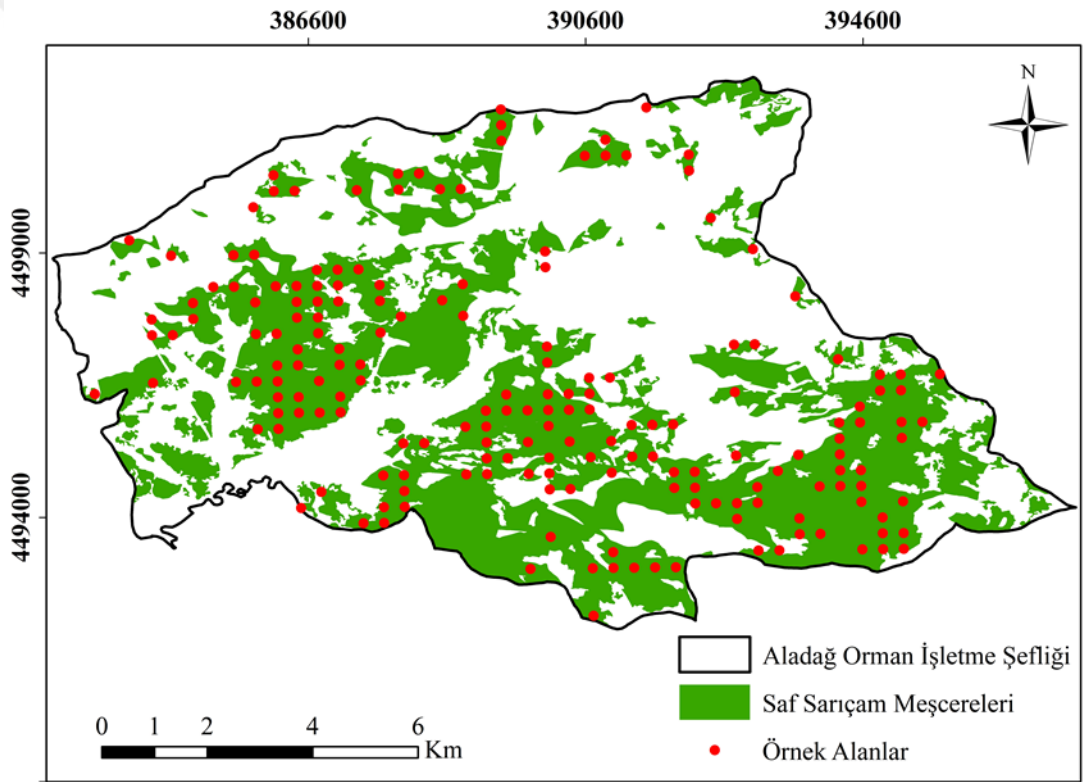
Gelişim Çağı	Kapalılık	I. Bonitet	II. Bonitet	III. Bonitet	Toplam
b	1	-	-	-	-
	2	-	50,3	5,7	56,0
	3	-	195,8	40,4	236,2
	Toplam	-	246,1	46,1	292,2
bc	1	-	-	-	-
	2	-	27,3	6,7	34,0
	3	2,7	255,0	50,5	308,2
	Toplam	2,7	282,3	57,2	342,2
c	1	-	-	-	-
	2	-	14,8	2,3	17,1
	3	32,5	155,1	87,6	275,2
	Toplam	32,5	169,9	89,9	292,3
cd	1	-	9,2	6,4	15,6
	2	35,0	225,7	109,5	370,2
	3	124,6	453,6	38,2	616,4
	Toplam	159,6	688,5	154,1	1.002,2
d	1	6,2	100,3	47,3	153,8
	2	131,4	522,5	69,8	723,7
	3	190,4	254,0	6,4	450,8
	Toplam	328,0	876,8	123,5	1.328,3
Genel Toplam		522,8	2.263,6	470,8	3.257,2

2.1.2 Yersel Ölçüm Verileri

Aladağ OİŞ saf sarıçam meşcerelerinin topraküstü karbon depolama miktarlarının uzaktan algılama verileri yardımıyla tahmin edilmesinde kullanılacak modellerin geliştirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, çalışma alanında yer alan saf sarıçam meşcerelere ilişkin örnek alan verilerine ihtiyaç duyulmuştur. Bu veriler, Aladağ OİŞ'nin güncel orman amenajman planının hazırlanması sürecinde 2018 yılında Orman Genel Müdürlüğü'ne bağlı Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı'nca görevlendirilen amenajman heyetlerince gerçekleştirilen orman envanter çalışmaları ile alınan örnek alan karnelerinden elde edilmiştir. Bu bağlamda, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı arşivinde yer alan 186 örnek alan karnesinden yararlanılmış olup, örnek alanların çalışma alanına dağılımı Şekil 2.2'de verilmiştir. Örnek alan karneleri;

- Göğüs yüksekliği çapı ($d_{1.3}$) 8 cm ve daha büyük olan ağaçların göğüs yüksekliği çapları,

- Meşcere üstboyu ve meşcere yaşı verilerine bağlı olarak Sarıçam Bonitet Endeks Tablosu (Alemdağ, 1967) yardımıyla belirlenen bonitet sınıfı (I. Bonitet: 14,5-20,5 m, II. Bonitet: 20,5-26,5 m ve III. Bonitet: 26,5-32,5 m),
- Gelişim çağı (a: $d_{ort} < 8$ cm, b: $8 \text{ cm} \leq d_{ort} < 20$ cm, c: $20 \text{ cm} \leq d_{ort} < 36$ cm ve d: $d_{ort} \geq 36$ cm),
- Örnek alanda yer alan ağaçların toprağı örtme derecelerine göre belirlenen kapalılık sınıfı (1 kapalı: %11-40, 2 kapalı: %41-70 ve 3 kapalı: >70),
- Gelişim çağı ve kapalılık sınıfına göre belirlenen meşcere tipi,
- Örnek alan merkezinin GPS yardımıyla belirlenen UTM koordinatları bilgilerini içermektedir.



Şekil 2.2 Örnek alanların çalışma alanına dağılımı

2.1.3 Uzaktan Algılama Verileri

Bu çalışmada; çalışma alanı sarıçam meşcerelerinin topraküstü karbon tahminlerinin modellenmesinde kullanılan uzaktan algılama verilerinin elde edilebilmesi için Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) uydu görüntüsü kullanılmış olup, 15.08.2018 tarihli bu görüntü <https://earthexplorer.usgs.gov> adresinden ücretsiz olarak

indirilmiştir. Çalışmaya konu uzaktan algılama verilerinin elde edilmesinde Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 5, Bant 6 ve Bant 7 değerleri kullanılmıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 Landsat 8 OLI uydu görüntüsüne ilişkin temel bilgiler

Bantlar	Dalga boyu (nm)	Konumsal çözünürlük (m)
Bant 2 (Mavi)	0,45-0,51	30
Bant 3 (Yeşil)	0,53-0,59	30
Bant 4 (Kırmızı)	0,64 -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

Çalışmada kullanılan Landsat 8 OLI uydu görüntüsü Level-1 C formatında elde edilmiş olduğundan herhangi bir radyometrik ve geometrik düzeltme yapılmamıştır. Bu nedenle uydu görüntüsüne ilişkin olarak QGIS Desktop 3.8.1 yazılımı yardımıyla yalnızca atmosferik düzeltme gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, alınan uydu görüntüsü analize hazır hale getirmek için ArcGIS Desktop 10.6.1 yazılımı yardımıyla Aladağ OİŞ'nin dış sınırlarına göre kesilmiştir.

Çalışma kapsamında ihtiyaç duyulan topografik veriler (bakı, eğim ve yükselti) ise ASTER uydu görüntüsünden üretilen sayısal arazi modeli ile elde edilmiştir.

2.2 Yöntem

Bu çalışmada, temel çalışma materyali olarak orman envanter karnelerinden elde edilen yersel ölçüm verilerine dayalı olarak örnek alan bazında hesaplanan TÜK (ton/ha) miktarları, Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen uzaktan algılama verileri ve sayısal arazi modelinden elde edilen topografik veriler kullanılmıştır. Uzaktan algılama verileri; her bir örnek alan için Landsat 8 OLI uydu görüntüsünün 6 bantı (Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 5, Bant 6 ve Bant 7) için hesaplanan bant reflektans değerleri ve söz konusu reflektans değerleri yardımıyla hesaplanan vejetasyon indisi değerlerinden oluşmaktadır. Topografik veriler ise örnek alanlara ilişkin bakı, eğim ve yükselti değerleridir. Söz konusu verilerin elde edilmesi ve bu veriler yardımıyla

gerçekleştirilen modelleme çalışmaları ile ilgili yöntemler aşağıda detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

2.2.1 Yersel Ölçüm Verileri Yardımıyla Topraküstü Karbon Miktarlarının Hesaplanması

Örnek alanlara ilişkin topraküstü karbon (TÜK) miktarlarının (kg) hesaplanması amacıyla, öncelikle örnek alan karnelerinde yer alan ağaçların göğüs yüksekliği çapları ($d_{1.3}$) kullanılarak Yavuz vd. (2010) tarafından Karadeniz Bölgesi sarıçam meşcereleri için geliştirilen aşağıdaki tek girişli denklem yardımıyla her bir ağacın topraküstü biyokütle (TÜB) miktarları hesaplanmış ve TÜB değerlerinin 299 Sayılı Tebliğ'de (OGM, 2017) yer alan karbon dönüştürme katsayısı (CF; ibrelili ağaç türleri için 0,51) ile çarpılmasıyla her bir ağacın TÜK miktarı elde edilmiştir. Sonrasında, örnek alandaki ağaçların TÜK miktarları toplanarak her bir örnek alanın toplam TÜK miktarı hesaplanmış ve örnek alan büyüklüklerine (400, 600 ve 800 m²) bağlı olarak da örnek alanların hektardaki TÜK miktarları kg/ha cinsinden belirlenerek ton/ha'a çevrilmiştir.

$$TÜB = 6,89952 - 2,423793 * d_{1.3} + 0,373438 * d_{1.3}^2 \quad (R^2=0,952) \quad (2.1)$$

Örnek alanlar için elde edilen TÜK verileri, uzaktan algılama verilerine dayalı topraküstü karbon modellerinin geliştirilmesinde kullanılan Modelleme Verileri ve geliştirilen modellerin geçerliliklerinin test edilmesinde kullanılan Kontrol Verileri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu amaca yönelik olarak verilerin %75'inin (140 örnek alan) modelleme ve %25'inin (46 örnek alan) kontrol amaçlı olarak kullanılması kararlaştırılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan örnek alanların meşcere tiplerine dağılımı Tablo 2.3'te ve örnek alanların TÜK değerlerine ilişkin istatistiksel değerler de Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.3 Örnek alanların meşçere tiplerine dağılımı

Meşçere Tipleri	Modelleme Verileri				Kontrol Verileri				Genel Toplam
	Örnek Alan Büyüklüğü			Toplam	Örnek Alan Büyüklüğü			Toplam	
	400 m ²	600 m ²	800 m ²		400 m ²	600 m ²	800 m ²		
Çsb2	-	1	-	1	-	-	-	-	1
Çsb3	3	-	-	3	1	-	-	1	4
Çsbc2	-	1	1	2	-	-	-	-	2
Çsbc3	2	1	-	3	1	-	-	1	4
Çsc2	-	-	1	1	-	1	-	1	2
Çsc3	16	1	-	17	5	1	-	6	23
Çscd1	-	-	1	1	-	-	-	-	1
Çscd2	3	13	8	24	-	6	1	7	31
Çscd3	20	4	-	24	7	1	-	8	32
Çsd1	-	1	8	9	-	1	2	3	12
Çsd2	1	28	13	42	-	12	2	14	56
Çsd3	5	8	-	13	1	4	-	5	18
Toplam	50	58	32	140	15	26	5	46	186

Tablo 2.4 Örnek alanların topraküstü karbon miktarlarına ilişkin istatistiksel değerler

Topraküstü Karbon (ton/ha)	Modelleme Verileri (n=140)	Kontrol Verileri (n=46)	Tüm Veriler (n=186)
Minimum	13,008	25,313	13,008
Maksimum	112,547	117,326	117,326
Ortalama	65,785	68,303	66,408
Standart Sapma	23,444	22,286	23,129

2.2.2 Uzaktan Algılama Verilerinin Elde Edilmesi

Çalışma kapsamında uzaktan algılama verileri olarak bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri olmak üzere 2 veri grubu kullanılmıştır. Her bir örnek alana ilişkin bant reflektans değerleri, uydu görüntüsünün bantlarına (Bant 2, Bant 3, Bant 4, Bant 5, Bant 6 ve Bant 7) ilişkin reflektans görüntüleri üzerine örnek alanlar atılarak elde edilmiştir. Bu değerler, ArcGIS Desktop 10.6.1 yazılımı içerisinde yer alan ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Zonal, Zonal Statistic modülünden yararlanılarak örnek alanların büyüklüğüne bağlı olarak uydu görüntüsü üzerinde oluşturulan buffer zonlar (400 m² için 11,28 m yarıçapında, 600 m² için 13,82 yarıçapında ve 800 m² için 15,96 m yarıçapında) içerisine düşen piksellerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Diğer uzaktan algılama verileri olan vejetasyon indisleri ise bant reflektans değerlerinden kullanılarak Tablo 2.5'te yer alan eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 2.5 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü kullanılarak hesaplanan vejetasyon indisleri

No	Vejetasyon indisi	Kısaltma	Formül	Kaynak
1	Albedo	Albedo	$B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7$	Lu vd. (2004)
2	Atmospherically Resistant Vegetation Index	ARVI	$\frac{B5 - 2B3 + B4}{B5 + 2B3 - B4}$	Kaufman ve Tanre (1992)
3	Blue Normalized Difference Vegetation Index	BNDVI	$\frac{B5 - B2}{B5 + B2}$	Wang vd. (2007)
4	Corrected Transformed Vegetation Index	CTVI	$\frac{NDVI + 0,5}{ NDVI + 0,5 \sqrt{ NDVI + 0,5 }}$	Perry ve Lautenschlager (1984)
5	Chlorophyll Vegetation Index	CVI	$\frac{B5 \times B4}{B3^2}$	Vincini vd. (2007)
6	Difference Vegetation Index	DVI	$B5 - B4$	Tucker (1980)
7	Enhanced Vegetation Index	EVI	$2,5 \frac{B5 - B4}{B5 + 6B4 - 7,5B2 + 1}$	Liu ve Huete (1995)
8	Enhanced Vegetation Index 2	EVI2	$2,4 \frac{B5 - B4}{B5 + B4 + 1}$	Jiang vd. (2008)
9	Green-Blue Normalized Difference Vegetation Index	GBNDVI	$\frac{B5 - (B2 + B3)}{B5 + (B2 + B3)}$	Wang vd. (2010)
10	Global Environment Monitoring Index	GEMI	$\eta(1 - 0,25\eta) - \frac{B5 - 0,125}{1 - B5}$; $\eta = 0,5$	Pinty ve Verstraete (1992)
11	Green Leaf Index	GLI	$\frac{2B3 - B4 - B2}{2B3 + B4 + B2}$	Gobron vd. (2000)
12	Green Normalized Difference Vegetation Index	GNDVI	$\frac{B5 - B3}{B5 + B3}$	Gitelson ve Merzlyak (1996)
13	Green Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	GOSAVI	$\frac{B5 - B3}{B5 + B3 + Y}$; $Y = 0,723$	Rondeaux vd. (1996)
14	Green-Red Normalized Difference Vegetation Index	GRNDVI	$\frac{B5 - (B3 + B4)}{B5 + (B3 + B4)}$	Gitelson ve Merzlyak (1996)
15	Green Soil Adjusted Vegetation Index	GSAVI	$\frac{B5 - B3}{B5 + B3 + L} (1 + L)$; $L = 0,752$	Sripada (2005)
16	Global vegetation moisture index	GVMI	$\frac{(B5 + 0,1) - (B7 + 0,02)}{(B5 + 0,1) + (B7 + 0,02)}$	Ceccato vd. (2002)
17	Infrared Percentage Vegetation Index	IPVI	$\frac{B5}{B5 + B4}$	Crippen (1990)
18	Middle Infrared Wavelengths	MID	$B6 + B7$	Kaufman ve Remer (1994)
19	Modified Normalized Difference Vegetation Index	MNDVI	$\frac{B5 - B7}{B5 + B7}$	Jurgens (1997)
20	Modified Soil Adjusted Vegetation Index	MSAVI	$\frac{2B5 + 1 - \sqrt{(2B5 + 1)^2 - 8(B5 - B4)}}{2}$	Qi vd. (1994)
21	Moisture Stress Index	MSI	$B6/B5$	Hunt ve Rock (1989)
22	Modified Simple Ratio	MSR	$\frac{(B5/B4) - 1}{\sqrt{(B5/B4) + 1}}$	Chen (1996)
23	Normalized Vegetation Index - ND32	ND32	$\frac{B4 - B3}{B4 + B3}$	Lu vd. (2004)
24	Normalized Vegetation Index - ND53	ND53	$\frac{B6 - B4}{B6 + B4}$	Lu vd. (2004)
25	Normalized Vegetation Index - ND73	ND73	$\frac{B7 - B4}{B7 + B4}$	Lu vd. (2004)
26	Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{B5 - B4}{B5 + B4}$	Rouse vd. (1974)
27	Nonlinear Vegetation Index	NLI	$\frac{B5^2 - B4}{B5^2 + B4}$	Goel ve Qin (1994)
28	Photosynthetic Vigour Ratio	PVR	$\frac{B3 - B4}{B3 + B4}$	Metternicht (2003)
29	Ratio Vegetation Index	RVI	$B5/B4$	Jordan (1969)
30	Soil And Atmospherically Resistant Vegetation Index	SARVI	$\frac{(1 + L)(B5 - 0,8723)}{(B5 - (0,8723) + L)}$; $L = 0,487$	Kaufman ve Tanre (1992)
31	Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	$1,5 \frac{B5 - B4}{B5 + B4 + 0,5}$	Huete (1988)
32	Image transform - VIS123	VIS123	$B2 + B3 + B4$	Lu vd. (2004)
33	Wide Dynamic Range Vegetation Index	WDRVI	$\frac{0,1B5 - B4}{0,1B5 + B4}$	Gitelson (2004)
34	Weighted Difference Index	WDVI	$B5 - 0,46B4$	Clevers (1989)

Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerlerine ek olarak, TÜK miktarı tahmin modellerinin başarı düzeylerine olan etkilerini incelemek için bakı, eğim ve yükselti olmak üzere 3 adet topografik veri de çalışmaya dahil edilmiştir. ArcGIS Desktop 10.6.1 yazılımı kullanılarak elde edilen bu veriler arasından örnek alanların yükselti (m) değerleri, örnek alanların ASTER uydu görüntüsünden üretilen sayısal arazi modeli üzerine atılması suretiyle doğrudan hesaplanmıştır. Bakı (°) ve eğim (%) verileri ise sayısal arazi yükseklik modeli kullanılarak üretilen eğim ve bakı haritaları üzerine örnek alanlar atılarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; TÜK miktarı tahmin modellerinde kullanılmak üzere Landsat 8 OLI uydu görüntüsü üzerinden 6 adet bant reflektans, 34 adet vejetasyon indisi ve 3 adet topografik veri olmak üzere her bir örnek alan için toplam 43 adet uzaktan algılama verisi elde edilmiştir (Tablo 2.6). Bu verilere ilişkin istatistiksel değerler; bant reflektans değerleri için Tablo 2.7’de, vejetasyon indisi değerleri için Tablo 2.8’de ve topografik veriler için Tablo 2.9’da verilmiştir.

Tablo 2.6 Landsat 8 OLI uydu görüntüsü ile elde edilen uzaktan algılama verileri

Bant Reflektans (n=6)	Vejetasyon İndisi (n=34)			Topografik Veri (n=3)
B2	Albedo	GOSAVI	ND73	Bakı
B3	ARVI	GRNDVI	NDVI	Eğim
B4	BNDVI	GSAVI	NLI	Yükselti
B5	CTVI	GVMİ	PVR	
B6	CVI	IPVI	RVI	
B7	DVI	MID	SARVI	
	EVI	MNDVI	SAVI	
	EVI2	MSAVI	VIS123	
	GBNDVI	MSI	WDRVI	
	GEMI	MSR	WDVI	
	GLI	ND32		
	GNDVI	ND53		

Tablo 2.7 Bant reflektans değerlerine ilişkin istatistiksel değerler

	Modelleme Verileri (n=140)				Kontrol Verileri (n=46)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
B2	0,027	0,054	0,034	0,004	0,027	0,046	0,034	0,004
B3	0,023	0,053	0,032	0,006	0,024	0,049	0,032	0,005
B4	0,029	0,067	0,039	0,007	0,030	0,064	0,040	0,007
B5	0,122	0,245	0,167	0,026	0,126	0,238	0,167	0,022
B6	0,064	0,161	0,098	0,019	0,069	0,138	0,101	0,020
B7	0,033	0,094	0,056	0,013	0,036	0,094	0,058	0,015

Tablo 2.8 Vejetasyon indisi değerlerine ilişkin istatistiksel değerler

	Modelleme Verileri (n=140)				Kontrol Verileri (n=46)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
Albedo	0,330	0,646	0,426	0,063	0,335	0,573	0,432	0,058
ARVI	0,330	0,517	0,388	0,036	0,332	0,514	0,393	0,040
BNDVI	0,575	0,776	0,661	0,040	0,598	0,762	0,659	0,041
CTVI	0,997	1,125	1,057	0,025	0,991	1,115	1,054	0,029
CVI	4,948	9,644	6,617	0,838	4,905	8,737	6,546	0,801
DVI	0,087	0,213	0,128	0,024	0,091	0,203	0,127	0,023
EVI	0,194	0,440	0,277	0,046	0,202	0,421	0,275	0,046
EVI2	0,179	0,400	0,254	0,042	0,188	0,382	0,252	0,041
GBNDVI	0,307	0,598	0,435	0,055	0,317	0,565	0,432	0,059
GEMI	0,278	0,441	0,386	0,033	0,290	0,436	0,386	0,029
GLI	-0,129	0,023	-0,071	0,026	-0,126	0,003	-0,071	0,024
GNDVI	0,586	0,777	0,681	0,037	0,578	0,762	0,677	0,040
GOSAVI	0,111	0,215	0,147	0,020	0,116	0,205	0,146	0,019
GRNDVI	0,250	0,589	0,403	0,065	0,237	0,549	0,397	0,073
GSAVI	0,188	0,366	0,249	0,034	0,197	0,348	0,248	0,032
GVMi	0,437	0,679	0,558	0,054	0,409	0,674	0,547	0,069
IPVI	0,747	0,883	0,809	0,026	0,741	0,871	0,806	0,030
MID	0,096	0,255	0,154	0,032	0,105	0,232	0,159	0,035
MNDVI	0,330	0,686	0,499	0,082	0,280	0,677	0,483	0,102
MSAVI	0,159	0,385	0,232	0,042	0,168	0,365	0,230	0,042
MSI	0,363	0,830	0,588	0,098	0,376	0,900	0,607	0,120
MSR	0,982	2,237	1,433	0,233	0,946	2,070	1,415	0,260
ND32	0,027	0,180	0,107	0,030	0,014	0,187	0,108	0,032
ND53	0,305	0,523	0,424	0,037	0,364	0,512	0,429	0,032
ND73	0,059	0,263	0,170	0,042	0,078	0,274	0,180	0,047
NDVI	0,494	0,766	0,618	0,053	0,482	0,743	0,612	0,060
NLI	-0,426	0,298	-0,169	0,137	-0,405	0,233	-0,176	0,142
PVR	-0,180	-0,027	-0,107	0,030	-0,187	-0,014	-0,108	0,032
RVI	2,951	7,537	4,343	0,820	2,858	6,768	4,293	0,904
SARVI	4,237	6,665	4,862	0,464	4,283	6,392	4,845	0,408
SAVI	0,196	0,410	0,270	0,041	0,205	0,393	0,269	0,040
VIS123	0,079	0,173	0,105	0,016	0,081	0,158	0,106	0,015
WDRVI	-0,544	-0,140	-0,399	0,076	-0,555	-0,193	-0,404	0,084
WDVI	0,106	0,230	0,149	0,025	0,110	0,222	0,149	0,022

Tablo 2.9 Topografik verilere ilişkin istatistiksel değerler

	Modelleme Verileri (n=140)				Kontrol Verileri (n=46)			
	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma	Minimum	Maksimum	Ortalama	S. Sapma
Eğim (%)	0	47	16	11	0	41	18	12
Yükselti (m)	1335	1884	1510	156	1340	1934	1518	157

2.2.3 Topraküstü Karbon Miktarının Uzaktan Algılama Verileri ile Modellenmesi

Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri ile sayısal arazi modelinden elde edilen topografik verilerin TÜK miktarı ile olan ampirik ilişkilerinin modellenmesi için TÜK miktarının bağımlı değişken (y_i) ve uzaktan algılama verilerinin ise bağımsız değişken (x_i) olarak analize dahil edildiği Aşamalı Regresyon Analizi yönteminden yararlanılmıştır. Bu amaçla öncelikle TÜK miktarı ile tüm uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkiler Korelasyon Analizi yardımıyla ortaya konulmuştur. Bu analiz sonucunda TÜK miktarı ile anlamlı korelasyon gösteren uzaktan algılama verileri dikkate alınarak modelleme verisi olarak ayrılan 140 örnek alana ilişkin veriler kullanılmak suretiyle Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla TÜK miktarlarının tahmini için kullanılacak regresyon modelleri geliştirilmiş ve modellerin katsayıları belirlenmiştir. Söz konusu regresyon denklemleri;

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i \quad (2.2)$$

formunda olup bu denklemde y_i olarak verilen bağımlı değişken TÜK miktarını (ton/ha) ve x_i olarak verilen bağımsız değişkenler de uzaktan algılama verilerini (bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri) ve topografik verileri (bakı, eğim ve yükselti) ifade etmektedir.

Geliştirilen regresyon denklemlerin tahmin başarılarının ortaya konulabilmesi için aşağıda denklem formları verilen Düzeltmiş Belirtme Katsayısı (R_d^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü ($RMSE$) ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) olmak üzere üç istatistiksel ölçütten yararlanılmıştır. Geliştirilen regresyon denklemlerinin başarılı olarak kabul edilebilmesi için; öncelikle tüm katsayılarının anlamlı olması ve ayrıca söz konusu istatistiksel ölçütlerden R_d^2 değerinin büyük ve $RMSE$ ve AIC değerlerinin ise küçük olması beklenmektedir.

$$R_d^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 (n-1)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 (n-k)} \quad (2.3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-k)}} \quad (2.4)$$

$$AIC = n \ln(RMSE) + 2k \quad (2.5)$$

Bu eşitliklerde; \hat{y}_i tahmin edilen TÜK miktarını, y_i ölçülen TÜK miktarını, \bar{y}_i ölçülen TÜK miktarlarının aritmetik ortalamasını, n veri sayısını ve k regresyon denklemindeki bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir.

Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla geliştirilen ve katsayıları anlamlı bulunan denklemlerin istatistiksel olarak kullanılabilirlikleri, kontrol verileri ($n=46$) kullanılarak Eşleştirilmiş t -testi yardımıyla araştırılmış ve yersel ölçümlere dayalı olarak belirlenen ve regresyon denklemleri ile tahmin edilen TÜK miktarlarının istatistiksel olarak benzerlikleri incelenmiştir.

Yukarıda açıklanan istatistik analizler IBM SPSS 23 paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiş olup, geliştirilen denklemlerin hata dağılımları ise Microsoft Office Excel programı kullanılarak hazırlanan grafiklerle ortaya konulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

TÜK miktarlarının tahmininde kullanılacak regresyon modelleri, yersel ölçümlere dayalı TÜK miktarları bağımlı değişken ve Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleri ile sayısal arazi modelinden elde edilen topografik veriler bağımsız değişkenler olacak şekilde Aşamalı Regresyon Analizine ile geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle örnek alanlara ilişkin TÜK miktarları ile bant reflektans, vejetasyon indisi ve topografik değerler arasındaki ilişkiler Korelasyon Analizi ile ortaya konulmuştur. Böylece, Aladağ OİŞ sarıçam meşcerelerinin TÜK miktarları ile anlamlı korelasyon gösteren ($p<0,05$) uzaktan algılama verileri belirlenmiş olup Korelasyon Analizi sonuçları Tablo 3.1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; bant reflektans değerlerinin tamamı TÜK miktarı ile negatif yönlü ve güçlü korelasyon göstermiştir ($p<0,001$). TÜK miktarı ile vejetasyon indisi değerlerinin büyük çoğunluğu arasında anlamlı korelasyon mevcutken ($p<0,05$), BNDVI, EVI, ND53, NLI ve SAVI indisleri ile anlamlı korelasyon bulunmamaktadır ($p>0,05$). Topografik verilerden ise bakı ve yükselti ile TÜK miktarı arasında negatif yönlü anlamlı korelasyon ($p<0,05$) bulunmasına karşın, eğim ile TÜK miktarı korelasyon göstermemiştir ($p>0,05$). Bu sonuçlar doğrultusunda Aşamalı Regresyon Analizinde 37 adet uzaktan algılama verisinin (6 adet bant reflektans değeri, 29 adet vejetasyon indisi ve 2 adet topografik veri) bağımsız değişken olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

TÜK miktarı tahmin modellerinin geliştirilmesi aşamasında, Aşamalı Regresyon Analizine dahil edilen bağımsız değişkenlere bağlı olarak 6 farklı model yapısı uygulanmıştır. Söz konusu model yapıları şu şekildedir:

- Yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı modeller,
- Bant reflektans değerleriyle topografik verilerin birlikte kullanıldığı modeller,
- Yalnızca vejetasyon indislerinin kullanıldığı modeller,
- Vejetasyon indisleriyle topografik verilerin birlikte kullanıldığı modeller,
- Bant reflektans değerleriyle vejetasyon indislerinin birlikte kullanıldığı modeller,
- Bant reflektans değerleri, vejetasyon indisleri ve topografik verilerin birlikte kullanıldığı modeller.

Tablo 3.1 TÜK miktarı ile uzaktan algılama verileri arasındaki korelasyonlar

Bant Reflektans Değerleri		Vejetasyon İndisi Değerleri		Topografik Veriler	
<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
B2	-0,551 <0,001***	Albedo	-0,667 <0,001***	Bakı	-0,165 0,025*
B3	-0,632 <0,001***	ARVI	-0,637 <0,001***	Eğim	-0,142 0,053 ^{ns}
B4	-0,676 <0,001***	BNDVI	0,029 0,693 ^{ns}	Yükselti	-0,214 0,003**
B5	-0,402 <0,001***	CTVI	0,331 <0,001***		
B6	-0,616 <0,001***	CVI	0,231 0,002**		
B7	-0,656 <0,001***	DVI	-0,224 0,002**		
		EVI	-0,127 0,083 ^{ns}		
		EVI2	-0,173 0,019*		
		GBNDVI	0,170 0,020*		
		GEMI	0,406 <0,001***		
		GLI	-0,229 0,002**		
		GNDVI	0,327 <0,001***		
		GOSAVI	-0,242 <0,001***		
		GRNDVI	0,318 <0,001***		
		GSAVI	-0,243 <0,001***		
		GVMİ	0,447 <0,001***		
		IPVI	0,325 <0,001***		
		MID	-0,628 <0,001***		
		MNDVI	0,401 <0,001***		
		MSAVI	-0,162 0,027*		
		MSI	-0,351 <0,001***		
		MSR	0,270 <0,001***		
		ND32	-0,175 0,017*		
		ND53	-0,044 0,550 ^{ns}		
		ND73	-0,397 <0,001***		
		NDVI	0,325 <0,001***		
		NLI	-0,014 0,854 ^{ns}		
		PVR	0,175 0,017*		
		RVI	0,233 0,001**		
		SARVI	-0,410 <0,001***		
		SAVI	-0,128 0,081 ^{ns}		
		VIS123	-0,646 <0,001***		
		WDRVI	0,270 <0,001***		
		WDVI	-0,325 <0,001***		

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, ^{ns}: $p > 0,05$

TÜK miktarlarının yalnızca bant reflektans değerleri ile modellenmesi üzerine gerçekleştirilen Aşamalı Regresyon Analizi sonuçlarına göre; düzeltilmiş belirtme katsayıları (R_d^2) 0,468 ile 0,629 arasında ve hata kareler ortalamasının karekökü ($RMSE$) değerleri de 14,271 ile 17,095 arasında değişen 4 başarılı model elde edilmiştir ve modellerin tamamı için tüm katsayılar anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur (Tablo 3.2). Bu modellere ilişkin bağımsız değişkenler; M1 için B4 ($R_d^2=0,468$; $RMSE=17,095$), M2 için B4 ve B5 ($R_d^2=0,515$; $RMSE=16,321$), M3 için B4, B5 ve B3 ($R_d^2=0,593$; $RMSE=14,964$) ve M4 için de B4, B5, B3 ve B7 ($R_d^2=0,629$; $RMSE=14,271$) değerleridir.

Tablo 3.2 Bant reflektans değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları

Model	Bağımsız Değişken	Regresyon Katsayısı	p	R_d^2	$RMSE$	AIC
M1	Sabit terim	157,671	<0,001***	0,468	17,095	401,427
	B4	-2.341,458	<0,001***			
M2	Sabit terim	182,852	<0,001***	0,515	16,321	396,940
	B4	-2.050,210	<0,001***			
	B5	-218,859	<0,001***			
M3	Sabit terim	208,899	<0,001***	0,593	14,964	386,790
	B4	-5.764,918	<0,001***			
	B5	-543,851	<0,001***			
	B3	5.500,048	<0,001***			
M4	Sabit terim	200,977	<0,001***	0,629	14,271	382,152
	B4	-4.666,357	<0,001***			
	B5	-620,414	<0,001***			
	B3	6.732,570	<0,001***			
	B7	-1.096,955	<0,001***			

***: $p<0,001$

Bant reflektans değerlerine ilave olarak topografik verilerin de analize dahil edilmesi ile gerçekleştirilen Aşamalı Regresyon Analizi sonuçlarına göre; R_d^2 değerlerinin 0,534 ile 0,618 arasında ve $RMSE$ değerlerinin de 14,481 ile 16,009 arasında değiştiği 5 model elde edilmiştir (Tablo 3.3). Bu modellerden M7 hariç diğer tüm modeller için katsayıların tamamı anlamlı ($p<0,05$) bulunmuş, M7 modeli için ise B4 değişkenine ilişkin katsayı anlamsız ($p>0,05$) bulunmuştur. Katsayıları anlamlı bulunan modellere ilişkin bağımsız değişkenler; M5 için B4 ve yükselti ($R_d^2=0,534$; $RMSE=16,009$), M6 için B4, yükselti ve B5 ($R_d^2=0,581$; $RMSE=15,176$), M8 için yükselti, B5 ve B7

($R_d^2=0,593$; $RMSE=14,958$) ve M9 için de yükselti, B5, B7 ve B6 ($R_d^2=0,618$; $RMSE=14,481$) değerleridir.

Tablo 3.3 Bant reflektans değerleri ve topografik verilerle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları

Model	Bağımsız Değişken	Regresyon Katsayısı	p	R_d^2	$RMSE$	AIC
M5	Sabit terim	220,323	<0,001***	0,534	16,009	394,237
	B4	-2.414,989	<0,001***			
	Yükselti	-0,040	<0,001***			
M6	Sabit terim	245,185	<0,001***	0,581	15,176	388,764
	B4	-2.124,816	<0,001***			
	Yükselti	-0,039	<0,001***			
	B5	-217,870	<0,001***			
M7	Sabit terim	240,098	<0,001***	0,597	14,874	387,950
	B4	-860,896	0,114 ^{ns}			
	Yükselti	-0,042	<0,001***			
	B5	-220,261	<0,001***			
	B7	-720,691	0,013*			
M8	Sabit terim	233,885	<0,001***	0,593	14,958	386,734
	Yükselti	-0,043	<0,001***			
	B5	-232,467	<0,001***			
	B7	-1.146,768	<0,001***			
M9	Sabit terim	206,424	<0,001***	0,618	14,481	384,196
	Yükselti	-0,024	0,018*			
	B5	-416,017	<0,001***			
	B7	-2.760,498	<0,001***			
	B6	1.222,227	0,002**			

***: $p<0,001$, **: $p<0,01$, *: $p<0,05$, ^{ns}: $p>0,05$

TÜK miktarlarının yalnızca vejetasyon indisi değerleri ile modellenmesi üzerine gerçekleştirilen Aşamalı Regresyon Analizi sonuçlarına göre; R_d^2 değerlerinin 0,468 ile 0,632 arasında ve $RMSE$ değerlerinin de 14,217 ile 17,098 arasında değiştiği 3 başarılı model elde edilmiştir ve modellerin tamamı için tüm katsayılar anlamlı ($p<0,05$) bulunmuştur (Tablo 3.4). Bu modellere ilişkin bağımsız değişkenler; M10 için Albedo indisi ($R_d^2=0,468$; $RMSE=17,098$), M11 için Albedo ve ND32 indisleri ($R_d^2=0,584$; $RMSE=15,126$) ve M12 için de Albedo, ND32 ve SARVI indisleri ($R_d^2=0,629$; $RMSE=14,271$) olmuştur.

Tablo 3.4 Vejetasyon indisi değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları

Model	Bağımsız Değişken	Regresyon Katsayısı	p	R_d^2	$RMSE$	AIC
M10	Sabit terim	175,255	<0,001***	0,468	17,098	401,458
	Albedo	-257,265	<0,001***			
M11	Sabit terim	220,881	<0,001***	0,584	15,126	386,296
	Albedo	-293,592	<0,001***			
	ND32	-282,210	<0,001***			
M12	Sabit terim	300,958	<0,001***	0,632	14,217	379,622
	Albedo	-197,744	<0,001***			
	ND32	-435,533	<0,001***			
	SARVI	-21,487	<0,001***			

***: $p < 0,001$

Vejetasyon indislerine ilave olarak topografik verilerin analize dahil edilmesi ile gerçekleştirilen Aşamalı Regresyon Analizi sonuçları herhangi bir topografik verinin modele dahil olmadığını göstermiştir.

Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerlerinin birlikte analize dahil edildiği Aşamalı Regresyon Analizi sonuçlarına göre 2 başarılı model elde edilmiştir ve her iki modelin tüm katsayıları da anlamlı ($p < 0,05$) bulunmuştur (Tablo 3.5). Bu modellere ilişkin bağımsız değişkenler; M13 için B4 ve CVI ($R_d^2=0,576$; $RMSE=15,272$) ve M14 için de B4, CVI ve B7 ($R_d^2=0,622$; $RMSE=14,404$) değerleridir.

Tablo 3.5 Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerleriyle gerçekleştirilen aşamalı regresyon analizi sonuçları

Model	Bağımsız Değişken	Regresyon Katsayısı	p	R_d^2	$RMSE$	AIC
M13	Sabit terim	278,247	<0,001***	0,576	15,272	387,640
	B4	-3.333,611	<0,001***			
	CVI	-12,338	<0,001***			
M14	Sabit terim	290,732	<0,001***	0,622	14,404	381,452
	B4	-1.382,405	0,008**			
	CVI	-15,264	<0,001***			
	B7	-1.245,287	<0,001***			

***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$

Bant reflektans ve vejetasyon indisi değerlerine ilave olarak topografik verilerin analize dahil edilmesi ile gerçekleştirilen Aşamalı Regresyon Analizi sonuçları herhangi bir topografik verinin modele dahil olmadığını göstermiştir.

TÜK miktarının tahmin edilmesi için geliştirilen regresyon modellerinin istatistiksel uygunlukları modelleme verilerinden bağımsız 46 örnek alana ilişkin kontrol verileri kullanılarak incelenmiştir. Bu amaçla, Aşamalı Regresyon Analizi ile geliştirilen ve tüm katsayıları anlamlı bulunan modeller yardımıyla her bir örnek alan için tahmin edilen TÜK miktarları ile örnek alanlar için yersel ölçüm verileri ile hesaplanan TÜK miktarları Eşleştirilmiş *t*-testi yardımıyla karşılaştırılmıştır (Tablo 3.6). Elde edilen sonuçlar, M1, M2, M3, M6, M10, M11, M12 ve M13 modellerine ilişkin TÜK miktarı tahminleri ile yersel ölçümlere dayalı TÜK miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadığını ($p>0,05$) ve bu modellerin çalışma alanı saf sarıçam meşcerelerinin TÜK miktarlarının tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir. Ancak, M4, M5, M8, M9 ve M14 modelleri ile elde edilen tahminleri ile yersel ölçümlere dayalı TÜK miktarları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuş ($p<0,05$) ve bu modellerin çalışma alanı için kullanımının uygun olmadığı anlaşılmıştır.

Yalnızca bant reflektans değerleri kullanılarak geliştirilen TÜK miktarı modellerine ilişkin sonuçlar (Tablo 3.2), B4 değerini içeren M1 modeline B5 değerinin eklenmesiyle elde edilen M2 modelinin tahmin başarısının M1 modeline göre %10 daha yüksek olduğunu göstermiştir. M2 modeline B3 değerinin eklenmesiyle elde edilen M3 modelinde ise tahmin başarısındaki artış %15'e yükselmiştir. M3 modelinin M1 modeline göre tahmin başarısı ise %27 daha yüksek bulunmuştur. Yalnızca vejetasyon indislerinin kullanıldığı TÜK modellerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Tablo 3.4), Albedo indisini içeren M10 modeline ND32 indisinin eklenmesiyle elde edilen M11 modelinin tahmin başarısı M10 modeline göre %25 daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. M11 modeline SARVI indisinin eklenmesiyle elde edilen M12 modelinde ise tahmin başarısındaki artış %8 olmuştur. M12 modelinin M10 modeline göre tahmin başarısı ise %35 daha yüksek bulunmuştur. Bu karşılaştırmalar, Eşleştirilmiş *t*-testi sonucunda (Tablo 3.6) yalnızca birer adet başarılı modeller içerdiklerinden bant reflektans değerleri ile topografik verilerin ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin kullanıldığı modeller için yapılamamıştır.

Tablo 3.6 Geliştirilen modellere ilişkin *t*-testi sonuçları

Model	Veri	Ortalama TÜK (ton/ha)	<i>t</i>	<i>p</i>
M1	Yersel ölçüm	68,303	1,626	0,111 ^{ns}
	Tahmin	64,247		
M2	Yersel ölçüm	68,303	1,566	0,124 ^{ns}
	Tahmin	64,498		
M3	Yersel ölçüm	68,303	1,835	0,073 ^{ns}
	Tahmin	64,191		
M4	Yersel ölçüm	68,303	2,421	0,020*
	Tahmin	62,664		
M5	Yersel ölçüm	68,303	2,114	0,040*
	Tahmin	63,257		
M6	Yersel ölçüm	68,303	1,499	0,141 ^{ns}
	Tahmin	64,829		
M8	Yersel ölçüm	68,303	2,270	0,028*
	Tahmin	62,766		
M9	Yersel ölçüm	68,303	2,701	0,010*
	Tahmin	61,996		
M10	Yersel ölçüm	68,303	1,589	0,119 ^{ns}
	Tahmin	64,161		
M11	Yersel ölçüm	68,303	1,949	0,058 ^{ns}
	Tahmin	63,569		
M12	Yersel ölçüm	68,303	1,759	0,085 ^{ns}
	Tahmin	64,346		
M13	Yersel ölçüm	68,303	1,678	0,100 ^{ns}
	Tahmin	64,468		
M14	Yersel ölçüm	68,303	2,302	0,026*
	Tahmin	62,858		

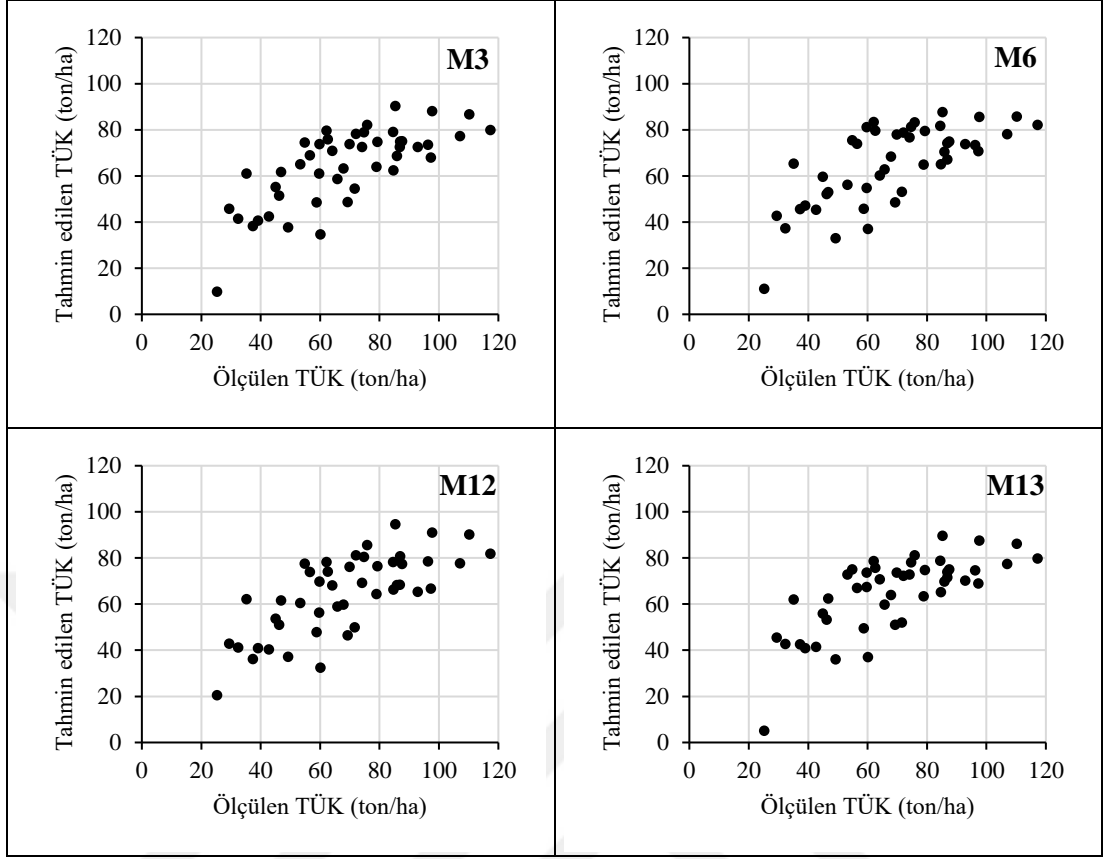
*: $p < 0,05$, ^{ns}: $p > 0,05$

Model formunda yer alan bağımsız değişkenlere bağlı olarak tasarlanan 6 farklı model yapısına ilişkin sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde; yalnızca bant reflektans değerlerinin, bant reflektans değerleri ile topografik verilerin, yalnızca vejetasyon indislerinin ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin bağımsız değişken olarak yer aldığı 4 model yapısı için başarılı modeller geliştirilebilmişken, vejetasyon indislerine ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerine topografik verilerin eklendiği model yapıları için daha başarılı modeller elde edilememiştir. Aşamalı Regresyon Analizi ve Eşleştirilmiş *t*-testi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde; yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı modeller arasında M3 modeli

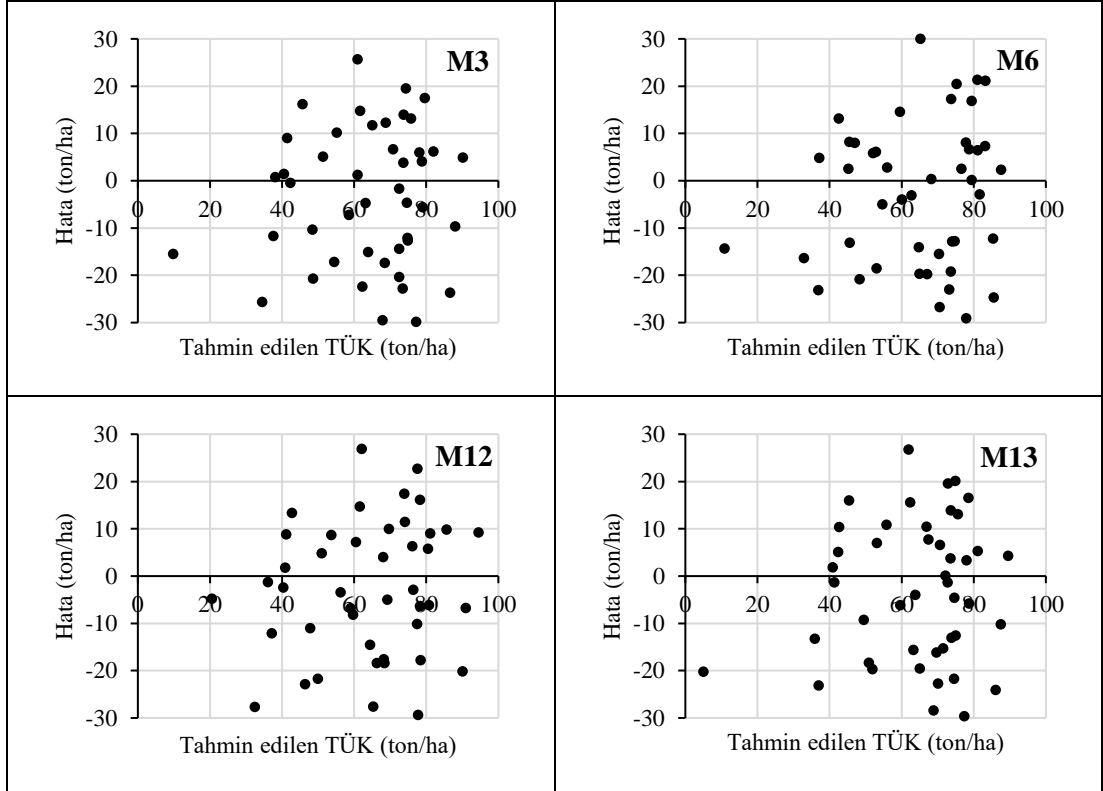
($R_d^2=0,593$), bant reflektans değerleri ile topografik verilerin birlikte kullanıldığı modeller arasında M6 modeli ($R_d^2=0,581$), yalnızca vejetasyon indislerinin kullanıldığı modeller arasında M12 modeli ($R_d^2=0,632$) ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin birlikte kullanıldığı modeller arasında M13 modeli ($R_d^2=0,576$) en başarılı model olmuş ve bu dört model arasında da Albedo, ND32 ve SARVI indislerini içeren M12 modelinin diğer üç modelden (M3, M6 ve M13) daha başarılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bant reflektans değerleri ile topografik verilerin birlikte kullanıldığı model yapısına ilişkin sonuçlar incelendiğinde, M5 ve M6 modellerinin sırasıyla yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı M1 ve M2 modellerine yükselti değişkeninin eklendiği modeller olduğu anlaşılmaktadır ve bu değişkenin eklenmesiyle model tahmin başarılarının (R_d^2) yaklaşık %15 arttığı görülmektedir. Ancak, bant reflektans değerleri ve topografik verilerin birlikte kullanıldığı en başarılı modelin (M6) tahmin başarısı ($R_d^2=0,581$) ile yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı en başarılı modelin (M3) tahmin başarısı ($R_d^2=0,593$) birbirine yakın bulunmuştur. Bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerinin birlikte kullanıldığı model yapısında ise M13 modelinin bant reflektans değerinin kullanıldığı M1 modeline CVI indisinin eklendiği model olduğu anlaşılmaktadır ve bu değişkenin eklenmesiyle model tahmin başarısı (R_d^2) yaklaşık %25 artmıştır. Bant reflektans değerleri ve vejetasyon indislerinin birlikte kullanıldığı en başarılı modelin (M13) tahmin başarısı ($R_d^2=0,576$) ile yalnızca bant reflektans değerlerinin kullanıldığı en başarılı modelin (M3) tahmin başarısı ($R_d^2=0,593$) ise birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur.

Geliştirilen TÜK tahmin modellerine ilişkin hata dağılımlarını incelemek üzere Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen uzaktan algılama verileriyle geliştirilen modeller arasında farklı model yapıları için en başarılı bulunan modellerin (yalnızca bant reflektans verileri için M3, bant reflektans değerleri ve topografik veriler için M6, yalnızca vejetasyon indisleri için M12 ve bant reflektans değerleri ve vejetasyon indisleri için M13) ölçüm ve tahmin karşılaştırma grafikleri dağılımları Şekil 3.1’de ve hata dağılımları Şekil 3.2’de verilmiştir. Modellere ilişkin hata dağılımları incelendiğinde; M3, M6, M12 ve M13 modellerinin tamamı için hataların -30 ton/ha ile 30 ton/ha arasında rastgele dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.1 Geliştirilen en başarılı modellere ilişkin ölçüm-tahmin karşılaştırma grafikleri



Şekil 3.2 Geliştirilen en başarılı modellere ilişkin hata grafikleri

Aksoy (2023) tarafından Sinop yöresi sarıçam meşcereleri için çeşitli meşcere özelliklerinin farklı uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verileri ile modellenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada Landsat 8 OLI uydu görüntüsü de değerlendirmeye alınmış ve TÜK miktarları bant reflektans değerleri kullanılarak $R^2=0,410$ ve vejetasyon indisleri kullanılarak $R^2=0,430$ tahmin başarısı ile modellenmiştir. Bu sonuçlar, çalışmamızda elde edilen tahmin başarılarından (bant reflektans değerleri kullanılarak $R^2=0,593$; vejetasyon indisleri kullanılarak $R^2=0,632$) daha düşük seviyededir. İki çalışmanın tahmin başarıları arasındaki bu farklılığın uydu görüntülerinin farklı tarihlere (bu çalışma için 2018, Aksoy (2023) için 2022) ait olmasından ve çalışma verilerinin farklı yörelerdeki (bu çalışma için Aladağ (Bolu), Aksoy (2023) için Sinop) sarıçam meşcerelerinden alınmış olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir.

Keleş vd. (2021) tarafından Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen bant reflektans ve vejetasyon indisi verileri yardımıyla Ilgaz yöresi sarıçam meşcereleri için meşcere bazında TÜK miktarlarının modellendiği çalışmada, bant reflektans verileri kullanılarak $R^2=0,454$; vejetasyon indisleri kullanılarak $R^2=0,531$ ve bant reflektans verileri ile vejetasyon indisleri birlikte kullanılarak $R^2=0,562$ değerleri elde edilmiştir. Çalışmamızda tek ağaç bazında TÜK miktarları için elde edilen tahmin başarıları (bant reflektans değerleri kullanılarak $R^2=0,593$; vejetasyon indisleri kullanılarak $R^2=0,632$ ve bant reflektans değerleri ve vejetasyon indisleri birlikte kullanılarak $R^2=0,576$), Keleş vd. (2021) tarafından meşcere bazında TÜK miktarları için elde edilen tahmin başarılarından daha yüksek bulunmuştur.

Topraküstü biyokütlenin Landsat 8 OLI uydu görüntüsünden elde edilen uzaktan algılama verileriyle modellendiği benzer çalışmaların (Chenge ve Osho, 2018; Das vd., 2021; Güverçin ve Günlü, 2023; Turgut ve Günlü, 2022) sonuçları ile bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, geliştirilen TÜK miktarı modellerine ilişkin tahmin başarılarının tatmin edici düzeyde olduğu söylenebilir. Güverçin ve Günlü (2023), Anamur yöresi saf kızılçam meşcereleri için topraküstü biyokütlenin uzaktan algılama verileriyle tahmin modellemesini konu edinen çalışmalarında bu çalışmaya benzer bir model tasarımı (yalnızca bant reflektans değerlerini, bant reflektans değerleri ile topografik verileri, yalnızca vejetasyon

indislerini, vejetasyon indisleri ile topografik verileri, bant reflektans deęerleri ile vejetasyon indislerini ve bant reflektans deęerleri, vejetasyon indisleri ve topografik verileri içeren modeller) uygulamış ve bu çalıřmada elde edilenlerden çok daha dűřuk tahmin bařarıları (yalnızca bant reflektans deęerlerini, bant reflektans deęerleri ile topografik verileri, yalnızca vejetasyon indislerini ve bant reflektans deęerleri ile vejetasyon indislerini içeren modeller için R_d^2 deęerleri sırasıyla 0,295; 0,366; 0,192 ve 0,325; bu çalıřmada elde edilen sonuçlar ise sırasıyla 0,593; 0,581; 0,632 ve 0,576) elde etmiřlerdir. Turgut ve Gűnlű (2022) tarafından Araç (Kastamonu) yűresi karaçam meřcereleri için yapılan çalıřmada uygulanan model tasarımlarından birisi de bu çalıřmayla benzerlik gűstermekte olup, Landsat 8 OLI uydu gűrűntűsűnden elde edilen vejetasyon indisleri yardımıyla geliřtirilen sűz konusu toprakűstű biyokűtle tahmin modeli için R_d^2 deęeri 0,387 olarak bulunmuřtur ve bu çalıřmada elde edilen $R_d^2=0,632$ deęerinden daha dűřűktűr. Das vd. (2021) tarafından vejetasyon indisleri yardımıyla geliřtirilen toprakűstű biyokűtle tahmin modeli ise ($R_d^2=0,850$) bu çalıřmada elde edilen modelden daha bařarılıdır. Chenge ve Osho (2018) bant reflektans deęerlerini ve vejetasyon indislerini içeren iki farklı model yapısı ile toprakűstű biyokűtle tahmin etmeye çalıřmıřlar ve bu çalıřmaya gűre daha bařarılı sonuçlar (bant reflektans deęerlerini içeren model için $R_d^2=0,800$ ve vejetasyon indislerini içeren model için $R_d^2=0,840$) elde etmiřlerdir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Aladağ Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yayılış gösteren saf sarıçam meşcereleri için Landsat 8 OLI uydu görüntülerinden elde edilen uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak topraküstü karbon miktarı için tahmin modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanında alınan 186 geçici örnek alan verisinden yararlanılmıştır. Yersel ölçüm verileri kullanılarak hesaplanan topraküstü karbon miktarı ile uydu görüntülerinden elde edilen bant reflektans değerleri, vejetasyon indisleri ve topografik veriler arasındaki ilişkiler Korelasyon Analizi ile incelenmiş ve topraküstü karbon miktarı ile uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkiler Aşamalı Regresyon Analizi ile modellenmiştir.

Çalışma kapsamında 14 adet regresyon modeli geliştirilmiş olmasına karşın, bu modellerden birinin (M7) anlamsız katsayı içermesi ve beşinin de (M4, M5, M8, M9 ve M14) Eşleştirilmiş *t*-testi sonucunda başarısız bulunması nedeniyle 8 adet başarılı model (M1, M2, M3, M6, M10, M11, M12 ve M13) elde edilmiştir. Başarılı bulunan bu modellerin tahmin başarıları (R_d^2) 0,468 ile 0,632 arasında değişmektedir. İçerdikleri bağımsız değişkenler bakımından 4 gruba ayrılan model yapılarına göre en başarılı modeller, yalnızca bant reflektans değerlerini içeren modeller arasında M3 ($R_d^2=0,593$), bant reflektans değerleri ile topografik verileri içeren modeller arasında M6 ($R_d^2=0,581$), yalnızca vejetasyon indislerini içeren modeller arasında M12 ($R_d^2=0,632$) ve bant reflektans değerleri ile vejetasyon indislerini içeren modeller arasında M13 ($R_d^2=0,576$) olmuştur. Tüm modeller birlikte değerlendirildiğinde ise yalnızca vejetasyon indislerini içeren M12 modeli Aladağ Orman İşletme Şefliği saf sarıçam meşcerelerinin topraküstü karbon miktarı tahminleri için en başarılı modeldir. Başarılı bulunan modellerin denklem formları aşağıdaki gibidir:

$$M3: \text{TÜK}=208,899-5.764,918*B4-543,851*B5+5.500,048*B3 \quad (4.1)$$

$$M6: \text{TÜK}=245,185-2.124,816*B4-0,039*Yükselti-217,870*B5 \quad (4.2)$$

$$M12: \text{TÜK}=300,958-197,744*Albedo-435,533*ND32-21,487*SARVI \quad (4.3)$$

$$M13: \text{TÜK}=278,247-3.333,611*B4-12,338*CVI \quad (4.4)$$

Çalışma kapsamında elde edilen yukarıdaki modeller, Aladağ Orman İşletme Şefliği saf sarıçam meşcerelerinin topraküstü karbon miktarı tahminlerinden başarıyla kullanılabilirler. Ancak, gelecekteki çalışmalarda farklı uydu görüntülerinin (Sentinel-1, Sentinel-2, Göktürk, İHA görüntüleri, LiDAR vb.) kullanılması, farklı uzaktan algılama verilerinin (bant parlaklık, geri yansıtım, tekstür değerleri vb.) modellere dahil edilmesi ve farklı modelleme tekniklerinin (Yapay Sinir Ağları, Derin Öğrenme, Random Forest vb.) uygulanması ile daha başarılı modellerin elde edilmesi de olasıdır.



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 Fen Bilimleri Enstitüsü*. Çankırı.
- Ateşoğlu, A. (2003). Bartın Yöresi Arazi Kullanımındaki Değişimin Uzaktan Algılama Verileriyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Zonguldak.
- Ateşoğlu, A. (2009). Farklı Uydu Görüntü Verileri İle Meşcere Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması (Bartın-Mugada Örneği). Doktora Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Bartın.
- Berra, E. F., Brandelero, C., Pereira, R. S., Sebem, E., Goergen, L. C. D. G., Benedetti, A. C. P., & Lippert, D. B. (2012). Total wood volume estimation of *Eucalyptus* species by images of landsat satellite. *Ciência Florestal*, 22, 853-864.
- Bulut, S., Günlü, A., & Çakır, G. (2023). Modelling some stand parameters using Landsat 8 OLI and Sentinel-2 satellite images by machine learning techniques: A case study in Türkiye. *Geocarto International*, 38(1), 2158238.
- Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., & Tarantola, S. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3), 188-197.
- 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.
- Chenge, I. B., & Osho, J. S. (2018). Mapping tree aboveground biomass and carbon in Omo Forest Reserve Nigeria using Landsat 8 OLI data. *Southern Forests*, 80(4), 341-350.
- Clevers, J. G. P. W. (1989). Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 29(1), 25-37.
- Crippen, R. E. (1990). Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34(1), 71-73.
- Das, B., Bordoloi, R., Deka, S., Paul, A., Pandey, P. K., Singha, L. B., Tripathi, O. P., Mishra, B. P., & Mishra, M. (2021). Above ground biomass carbon assessment using field, satellite data and model based integrated approach to predict the carbon sequestration potential of major land use sector of Arunachal Himalaya, India. *Carbon Management*, 12(2), 201-214.
- Demirel, D. (2022). Saf karaçam ve sarıçam meşcerelerinde Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi

(Karadere Orman İşletme Müdürlüğü Örneği). Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

- Demirel, D., Sakıcı, O. E., & Günlü, A. (2022). Predicting some stand attributes of scots pine stands using Landsat 8 OLI satellite image: A case study of Kösdag Planning Unit (Kastamonu). *3rd International Conference on Environment and Forest Conservation Symposium*, 21-23 February 2022, 63, Kastamonu, Türkiye.
- Dos Reis, A. A., Carvalho, M. C., de Mello, J. M., Gomide, L. R., Ferraz Filho, A. C., & Acerbi Junior, F. W. (2018). Spatial prediction of basal area and volume in *Eucalyptus* stands using Landsat TM data: an assessment of prediction methods. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 48(1), 1-17.
- Eraslan, İ. (1982). *Orman Amenajmanı*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basımevi, 582.
- Gitelson, A. A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161(2), 165-173.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 494-500.
- Gobron, N., Pinty, B., Verstraete, M. M., & Widlowski, J. L. (2000). Advanced vegetation indices optimized for up-coming sensors: Design, performance, and applications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(6), 2489-2505.
- Goel, N. S., & 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., Ercanlı, İ., Başkent, E.Z. & Şenyurt, M. (2013b). Quickbird ve Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri kullanılarak Ayancık-Göldağ kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) meşcerelerinde hacim tahmini. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 14(1), 24-30.
- Günlü, A., Kahrıman, A., & Ercanlı, İ. (2013a). Modeling some stand parameters using vegetation indices based on Landsat ETM+ in Ayancık-Goldag Planning Unit, Türkiye. *In International Caucasia Forestry Symposium*, 24-26 October 2013, Artvin, Türkiye.
- Günlü, A., Özgün, M., & Ercanlı, İ. (2014). Landsat TM uydu görüntüsü yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi (Yapraklı Orman İşletme Şefliği Örneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 1(1-2), 41-49.
- Güverçin, İ., & 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.

- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309.
- Hunt Jr, E. R., & Rock, B. N. (1989). Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, 30(1), 43-54.
- Issa, S., Dahy, B., Saleous, N., & Ksiksi, T. (2019). Carbon stock assessment of date palm using remote sensing coupled with field-based measurements in Abu Dhabi (United Arab Emirates). *International Journal of Remote Sensing*, 40(19), 7561-7580.
- Izadi, S., Sohrabi, H., & Khaledi, M. J. (2020). Estimation of coppice forest characteristics using spatial and non-spatial models and Landsat data. *Journal of Spatial Science*, 67(1), 143-156.
- İnan, M. (2004). Orman varlığının saptanmasında uzaktan algılama verileri. Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- İnan, M. (2009). Uzaktan algılama verileri ve orman meşcerelerine ait dendrometrik elemanlar arasındaki spektral ilişkiler. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(3), 21-33
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & 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(4), 663-666.
- Jurgens, C. (1997). The modified normalized difference vegetation index (mNDVI) a new index to determine frost damages in agriculture based on Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 18(17), 3583-3594.
- Kalıpsız, A. (1999). *Dendrometri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını No:3194/354.
- Kangas, A., Gove, J. H. & Scott, C. T. (2006). Introduction. A. Kangas & M. Maltamo (Eds.), *Forest Inventory Methodology and Applications* (pp. 13-38). Netherlands: Springer.
- Kaufman, Y. J., & 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., & 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., & Ercanli, İ. (2021). Estimating aboveground stand carbon by combining Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite data: A case study from Turkey. P.

- K. Shit, H. R. Pourghasemi, P. P. Adhikary, G. S. Bhunia & V. P. Sati (Eds.), *Forest Resources Resilience and Conflicts* (pp. 117-126). Amsterdam: Elsevier.
- Köhl, M. (2004). Forest inventory and monitoring. J. Burley, J. Evans & J. Youngquist, (Eds.), *Encyclopedia of Forest Science* (pp. 403-409). Spain: Elsevier.
- Laar, A., & Akça, A. (2007). *Forest mensuration*. Netherlands: Springer.
- Li, Y., Li, M., Li, C., & Liu, Z. (2020). Forest aboveground biomass estimation using Landsat 8 and Sentinel-1A data with machine learning algorithms. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Liu, H. Q., & 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., & Batistella, M. (2005). Exploring TM image texture and its relationships with biomass estimation in Rondônia, Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 35, 249-257.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management*, 198(1-3): 149–167.
- Metternicht, G. (2003). Vegetation indices derived from high-resolution airborne videography for precision crop management. *International Journal of Remote Sensing*, 24(14), 2855-2877.
- Nouri, A., Kiani, B., Hakimi, M. H., & Mokhtari, M. H. (2020). Estimating oak forest parameters in the western mountains of Iran using satellite-based vegetation indices. *Journal of Forestry Research*, 31, 541-552.
- OGM (2011). *Ormancılığın Temeli, Orman Amenajman Planı Yapılması*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı.
- OGM (2017). *Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesine Ait Usul ve Esaslar*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Daire Başkanlığı.
- OGM (2024). Türkiye Orman Varlığı. <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/Turkiye-Orman-Varligi>, Erişim tarihi: 25/04/2024.
- Özkan, U. Y., & Demirel, T. (2018). Estimation of forest stand parameters by using the spectral and textural features derived from digital aerial images. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 3043-3060.
- Perry Jr, C. R., & Lautenschlager, L. F. (1984). Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 14(1-3), 169-182.

- Pinty, B., & Verstraete, M. M. (1992). GEMI: A non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetatio*, 101(1), 15-20.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 48(2), 119-126.
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 55(2), 95-107.
- Rouse, J. W., Haas, J. R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of The 3rd ERTS-1 Symposium*, Washington, DC, USA.
- Sa, R., & Fan, W. (2023). Estimation of Forest Parameters in Boreal Artificial Coniferous Forests Using Landsat 8 and Sentinel-2A. *Remote Sensing*, 15(14), 3605.
- Sakıcı, O. E. (2009). Ağaç Serveti Envanterinde Kullanılan Örneklem Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Trabzon.
- Sakıcı, O. E., & Günlü, A. (2018). Artificial intelligence applications for predicting some stand attributes using Landsat 8 OLI satellite data: A case study from Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(4), 5269-5285.
- Schreuder, H.T., Gregoire, T.G., & Wood, G.B. (1993). *Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory*, New York, 446.
- Sivrikaya, F., & 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.
- Sripada, R. P. (2005). Determining In-Season Nitrogen Requirements for Corn Using Aerial Color-Infrared Photography. PhD Dissertation, *North Carolina State University*, Raleigh, NC, USA.
- Şahan, E. (2024). Aktif ve pasif uydu görüntüleri kullanılarak saf karaçam meşcerelerinde topraküstü karbonun tahmin edilmesi (Elekçami Orman İşletme Şefliği örneği). Yüksek Lisans Tezi, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Çankırı.
- Şenyurt, M., Günlü, A., Ercanlı, İ., & Yılmaz, C. (2013). Landsat 8 Uydu Görüntüsü Kullanılarak Karşıkent Orman İşletme Şefliği Meşcere Özelliklerinin Tahmin Edilmesi. *Ormanlıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu*, 26-28 Kasım 2013, 497-503, Antalya.
- Yılmaz, C., Şenyurt, M., & Günlü, A. (2017) Landsat TM uydu görüntüsü yardımıyla bazı meşcere parametrelerinin tahmin edilmesi (Reşadiye Orman İşletme Şefliği Örneği). *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 200-209.

- Tucker, C. J., Elgin Jr, J. H., McMurtrey Iii, J. E., & Fan, C. J. (1979). Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 8(3), 237-248.
- Turgut, R., & 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.
- URL-1. Resmi istatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BOLU>, Erişim tarihi; 26/04/2024
- Vincini, M., Frazzi, E., D'alessio, P., & Stafford, J. V. (2007). Comparison of narrow-band and broad-band vegetation indexes for canopy chlorophyll density estimation in sugar beet. *6th European Conference on Precision Agriculture*, 3-6 June 2007,189-196, Skiathos, Greece.
- Wang, F. M., Huang, J. F., Tang, Y. L., & Wang, X. Z. (2007). New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice. *Rice Science*, 14(3), 195-203.
- Wang, F., Huang, J., & Chen, L. (2010). Development of a vegetation index for estimation of leaf area index based on simulation modeling. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), 328-338.
- Yavuz, H., Mısır, N., Tüfekçioğlu, A., Altun, L., Mısır, M., Ercanlı, İ., Sakıcı, O. E., Kahriman, A., Karahalil, U., Yılmaz, M., Sarıyıldız, T., Küçük, M., Meydan, G., Bayburtlu, Ş., Bilgili, F., Aydın, A. C., Kara, Ö., Bolat, İ., Usta, A., 2010. Karadeniz bölgesi saf ve karışık sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcereleri için mekanistik büyüme modellerinin geliştirilmesi, biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. TÜBİTAK Projesi (Proje No: 106O274).