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

KASTAMONU YÖRESİ KARAÇAM MEŞCERELERİNDE YAPRAK ALAN İNDEKSİ İLE ÇEŞİTLİ MEŞCERE ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN BELİRLENMESİ

BATIN MEHMET YER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DOÇ. DR. OYTUN EMRE SAKICI

ŞUBAT - 2021
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Batın Mehmet YER tarafından hazırlanan "**Kastamonu Yöresi Karaçam Meşcerelerinde Yaprak Alan İndeksi İle Çeşitli Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **22.02.2021** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Fatih SİVRİKAYA Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Emrah ÖZDEMİR İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	.....

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

Enstitü Müdürü Prof. Dr. İzzet ŞENER .....

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.

Batın Mehmet YER

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KASTAMONU YÖRESİ KARAÇAM MEŞCERELERİNDE YAPRAK ALAN İNDEKSİ İLE ÇEŞİTLİ MEŞCERE ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN BELİRLENMESİ

BATIN MEHMET YER

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

Bu çalışmada, Kastamonu yöresinde yayılış gösteren eşit yaşlı, saf ve doğal karaçam meşcereleri için yaprak alan indeksi (YAİ) ile çeşitli meşcere özellikleri (orta çap, meşcere yaşı, üst boy, bonitet endeksi, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, sıklık derecesi, tepe biyokütlesi ve tepe boyutları) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 119 örnek alan alınmış ve örnek alanlara ilişkin YAİ ve diğer meşcere özellikleri belirlenmiştir. YAİ ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler Korelasyon Analizi ile ortaya konulmuş ve YAİ ile orta çap, üst boy, bonitet endeksi, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, sıklık derecesi ve tepe biyokütlesi arasında pozitif yönlü ilişkiler tespit edilmiştir. YAİ'nin yaş, sıklık ve bonitet sınıflarına göre değişimi Varyans Analizi ile incelenmiş ve sıklık ve bonitet sınıfları bakımından anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Regresyon Analizi yardımıyla da meşcere özelliklerinden yararlanılarak YAİ değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, 7'si literatürden alınan ve 4'ü de bu çalışmada geliştirilen toplam 11 regresyon modeli için parametre tahminleri yapılmış ve geliştirilen modeller çeşitli istatistiksel ölçütler (düzeltilmiş belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$), ortalama hata (*OH*), ortalama mutlak hata (*OMH*), hata kareler ortalamasının karekökü (*HKOK*), Akaike bilgi ölçütü (*AIC*)) yardımıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan rölatif sıralama sonucunda bonitet endeksi ve sıklık derecesinin bağımsız değişkenler olarak yer aldığı D-1 modelinin en başarılı regresyon modeli olduğu ve YAİ tahminlerinde kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. D-1 modeline ilişkin düzeltilmiş belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$) ve hata kareler ortalamasının karekökü (*HKOK*) değerleri sırasıyla 0,631 ve 0,44 olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Yaprak alan indeksi, Sıklık, Yetişme ortamı verim gücü, Karaçam

Şubat 2021, 46 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

DETERMINATION OF RELATIONSHIPS BETWEEN LEAF AREA INDEX AND STAND CHARACTERISTICS IN CRIMEAN PINE STANDS OF KASTAMONU REGION

BATIN MEHMET YER

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

In this study, it is aimed to determine the relationships between leaf area index (LAI) and some stand characteristics (quadratic mean diameter, stand age, dominant height, site index, number of trees, basal area, stand density, crown biomass and crown dimensions) for even-aged, pure and natural Crimean pine stands in Kastamonu region. For this purpose, the LAI and other stand characteristics were determined in 119 sample plots. The correlation analysis was used to evaluate the relationships between the LAI and stand parameters, and as a result, positive correlations have been found between LAI and stand density, basal area, number of trees, site index, dominant height, and crown biomass. ANOVA was used to examine of the LAI according to age, stand density and site classes. It was determined that there are significant differences in terms of stand density and site classes. To estimate the LAI using the stand characteristics, regression equations have been developed. For this purpose, parameter estimates were made for 11 regression models, seven of which were taken from the literature and the other four models were developed in this study. The models developed were compared with various statistical criteria (adjusted coefficient of determination (R_{adj}^2), mean error (*ME*), root mean square error (*RMSE*), Akaike information criterion (*AIC*)). According to the relative ranking results, the D-1 model, in which site index and stand density are included as independent variables, was the most successful regression model and it is appropriate to use for LAI estimates. Adjusted coefficient of determination (R_{adj}^2) and root mean square error (*RMSE*) values for the D-1 model were calculated as 0,631 and 0,44, respectively.

KEYWORDS: Leaf area index, Stand characteristics, Stand density, Site index, *Pinus nigra*

February 2021, 46 Page

TEŞEKKÜR

"Kastamonu Yöresi Karaçam Meşcerelerinde Yaprak Alan İndeksi İle Çeşitli Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi" adlı bu çalışma Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Öncelikle konu seçiminden çalışmanın son aşamasına kadar, ilgili ve yol gösterici tutumuyla çalışmamı destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI'ya şükranlarımı sunarım. Tez jürimde görev alan ve tezimin geliştirilmesinde her türlü desteği veren sayın hocalarım Doç. Dr. Fatih SİVRİKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Emrah ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim. Yüksek lisans sürecinde çalışmalarımda desteklerini esirgemeyen, önerileriyle katkıda bulunan ve arazi çalışmalarını birlikte yürüttüğüm değerli hocam Dr. Mehmet SEKİ'ye ayrıca teşekkürlerimi sunarım. Akademik hayatım süresince desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli ablam Dr. Öğr. Üyesi Esra Nurten YER ÇELİK'e çok teşekkür ederim. Tez çalışması süresince manevi destekleri ile sürekli yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

BATIN MEHMET YER

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

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 **6**
2.1 Materyal 6
2.2 Yöntem 15
2.2.1 YAİ ile Diğer Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi 15
2.2.2 YAİ Modellerinin Geliştirilmesi 16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA **21**
3.1 YAİ ile Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkiler 21
3.2 YAİ Modellerine İlişkin Bulgular 28
4. SONUÇ VE ÖNERİLER **35**
KAYNAKLAR **37**
ÖZGEÇMİŞ **46**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Karaçam'ın Türkiye'deki yayılışı (OGM, 2013) 6
Şekil 2.2 Çalışma alanının konumu 7
Şekil 2.3 LAI-2200C PCA cihazı 8
Şekil 2.4 YAİ ölçüm deseni 9
Şekil 2.5 LAI-2200C PCA cihazı ile yapılan ölçümler 10
Şekil 2.6 Örnek alanlarda yapılan diğer ölçümler 10
Şekil 2.7 Örnek alanların yaş sınıflarına dağılımı 14
Şekil 2.8 Örnek alanların sıklık sınıflarına dağılımı 14
Şekil 2.9 Örnek alanların bonitet sınıflarına dağılımı 15
Şekil 3.1 YAİ ile orta çap ilişkisi 22
Şekil 3.2 YAİ ile meşcere yaşı ilişkisi 23
Şekil 3.3 YAİ ile üst boy ilişkisi 23
Şekil 3.4 YAİ ile bonitet endeksi ilişkisi 24
Şekil 3.5 YAİ ile ağaç sayısı ilişkisi 24
Şekil 3.6 YAİ ile göğüs yüzeyi ilişkisi 25
Şekil 3.7 YAİ ile sıklık derecesi ilişkisi 25
Şekil 3.8 YAİ ile tepe biyokütlesi ilişkisi 26
Şekil 3.9 YAİ ile tepe çapı ortalaması ilişkisi 26
Şekil 3.10 YAİ ile tepe uzunluğu ortalaması ilişkisi 27
Şekil 3.11 D-1 modeline ilişkin 1:1 grafiği 31
Şekil 3.12 D-1 modeline ilişkin hata grafiği 32

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Örnek alanlara ilişkin istatistiksel bilgiler 14
Tablo 2.2 YAİ modellemesi için kullanılan regresyon modelleri 18
Tablo 3.1 YAİ ve diğer meşcere özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları 22
Tablo 3.2 Varyans analizi sonuçları 27
Tablo 3.3 Duncan testi sonuçları 28
Tablo 3.4 YAİ modellerine ilişkin istatistiksel sonuçlar 30
Tablo 3.5 YAİ modellerine ilişkin rölatif sıralamalar 31

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

d_g	: Meşcere orta çapı
D_T	: Tepe çapı
$D_{T(ort)}$	: Tepe çapı ortalaması
G	: Meşcere göğüs yüzeyi
h_{100}	: Üst boy
H_T	: Tepe uzunluğu
$H_{T(ort)}$	: Tepe uzunluğu ortalaması
M_{dal}	: Dal biyokütlesi
M_{ibre}	: İbre biyokütlesi
M_{tepe}	: Tepe biyokütlesi
N	: Ağaç sayısı
$R^2_{düz}$	: Düzeltilmiş belirtme katsayısı
R_i	: Rölatif sıra
t	: Meşcere yaşı

Kısaltmalar

AIC	: Akaike bilgi kriteri
BE	: Bonitet endeksi
cm	: Santimetre
ha	: Hektar
HKOK	: Hata kareler ortalamasının karekökü
LAI	: Leaf area index
m	: Metre
m^2	: Metrekare
mm	: Milimetre
OBM	: Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
OH	: Ortalama hata
OİM	: Orman İşletme Müdürlüğü
OMH	: Ortalama mutlak hata
PCA	: Plant canopy analyzer
SD	: Sıklık derecesi
YAİ	: Yaprak alan indeksi

1. GİRİŞ

Orman, canlı ve cansız varlıklar arasında enerji transferleri ve besin döngüsünün gerçekleştiği dinamik bir ekosistemdir (Çepel, 1978). Orman ekosisteminin her bir parçası sistemin düzgün ve devamlı çalışmasını sağlamaktadır. Ormanlardaki üretim potansiyelinin ortaya çıkarılması ağaçların yaprak miktarı ve yaprak yüzey alanları ile yakından ilişkilidir. Orman ağaçları kökleriyle topraktan aldıkları su ve mineral maddeleri yapraklarına ulaştırmakta ve güneş enerjisinin yardımıyla da ormanlardaki üretim sürecini başlatmaktadırlar (Kalıpsız, 1988). Yaprakların yüzey alanları yağışın ne kadarının toprağa geçeceği konusunda önemli bir gösterge olmakla birlikte toprağa ulaşacak yağmur damlalarının hızını keserek bir kalkan görevi de görmektedirler. Böylece yağmur damlacıklarının doğrudan toprağa çarpmasını ve toprağın taşınmasını engellemektedirler (Fidan vd., 2008). Ormanlar diğer ekosistemlerden daha çok yaprak miktarına ve yaprak yüzey alanına sahip oldukları için fotosentezle yapmış oldukları oksijen üretimi daha fazla olmakta, böylece daha fazla karbondioksiti bünyelerine hapsederek bir karbon yutağı görevi de görmektedirler (Arslan vd., 2007).

Meşcere içerisindeki ağaçların fotosentez yaparak yaşamlarını devam ettirebilmesi için yaprağa sahip olmaları gerekir ve böylelikle ihtiyaçları olan organik maddeleri üretebilirler. Fotosentez ile üretilen organik maddeler ağaç içerisinde taşınarak ağacın kökünden meyvesine kadar her kısmında çeşitli şekilde depolanmaktadırlar. Bu depolanan organik maddeler ibre, yaprak, meyve, dal, gövde ve kök kısımlarının gelişmesini ve büyümesini sağlamaktadır (Kalıpsız, 1988; Carus ve Çatal, 2005; Öner ve Çakır, 2006).

Orman ekosistemlerinde fizyolojik ve biyolojik süreçlerin meydana gelmesinde yaprak alanları önemli bir parametre olup, yaprak alan indeksi (YAİ) bunun bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Orman ekosistemi içerisinde meydana gelen su üretimi, transpirasyon, intersepsiyon süreçleri ve yıllık yağış miktarındaki değişiklikler, iklimsel farklılıklar, meşcere içerisine ulaşan ışık ve su miktarı YAİ değeriyle oldukça ilişkili olup YAİ değerinin önemi bir çok çalışmada belirtilmektedir (Grier ve Running, 1977; Waring, 1983; Vose ve Allen, 1988; Bonan, 1993; Dufrêne

ve Bréda, 1995; Jose ve Gillespie, 1997; Dantec vd., 2000; Frazer vd., 2000; Jonckheere vd., 2004; White ve Scott, 2006; Davi vd., 2008).

YAİ parametresini ilk defa Watson (1947) birim alandaki (m^2) yaprakların tek yüzünün toplam alanı (m^2) olarak tanımlamıştır (Chen ve Black, 1992; Bréda, 2003; Jonckheere vd., 2004). YAİ değeri orman ekosistemleri için önemli bir göstergedir. Yapılan pek çok çalışmada net birincil üretim ile YAİ arasında çeşitli oranlarda ilişki olduğu belirtilmiştir (Gholz, 1982; Gower vd., 1992; Dantec vd., 2000).

YAİ değerinin tespitine yönelik araştırmaların temeli, 1970'li yıllarda yapılan biyokütle çalışmalarına dayanmaktadır (Coker, 2006). 1980'li yıllarda yapılan çalışmalar ise ağırlıklı olarak çeşitli ağaç türleri için diri odun yüzey alanı ile yaprak alanı arasındaki ilişkiler üzerinedir (Whitehead, 1978; Waring, 1983; Whitehead vd.,1984; McLeod ve Running, 1988).

Uluslararası çalışmalar incelendiğinde; bir meşcerenin sahip olduğu YAİ değerinin tespit edilmesinde örnek alanlarda doğrudan yaprak örneklerinin toplanarak YAİ miktarının ortaya konulması veya çeşitli optik cihazlar yardımıyla YAİ değerinin belirlenmesi şeklinde iki farklı yolun izlenebileceği ifade edilmektedir (Comeau vd., 1998; Küßner ve Mosandl, 2000; Jelaska, 2004). Optik cihazların YAİ tahmin başarısını belirlemek amacıyla yapılan çalışmalarda; yersel ölçümler yardımıyla toplanan yaprak örnekleri kullanılarak belirlenen YAİ değerleri ile optik cihazların ölçtüğü değerler arasında güçlü ilişkiler olduğu ve dolayısıyla optik cihazların YAİ değerini belirlemede başarı ile kullanılabileceği belirtilmektedir (Chen vd., 1997; Cutini vd., 1998; Dantec vd., 2000; Pace, 2003; Jonckheere vd., 2005; Bequet vd., 2012; Masona vd., 2012; Goude vd., 2019).

YAİ değerleri ile çeşitli meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmalar incelendiğinde; meşceredeki ağaç sayısı, meşcere göğüs yüzeyi ve hacmi, sıklık, toprak üstü meşcere biyokütlesi gibi meşcere özellikleri ile YAİ değeri arasında pozitif yönlü ilişkiler bulunduğu görülmektedir (Kollenberg ve O'Hara, 1999; Dantec vd., 2000; Jonckheere vd., 2005; Bequet vd., 2012; Masona vd., 2012; Khosravi vd., 2012; Sidabras ve Augustaitis, 2015; Goude vd., 2019). Meşcerelere ilişkin YAİ

değerlerini tahmin etmek amacıyla kullanılacak regresyon denklemlerinin geliştirildiği çalışmalarda çeşitli meşcere özelliklerinin bağımsız değişken olarak kullanıldığı modeller geliştirilmiştir (Jack ve Long, 1991; Long ve Smith, 1992; Jose ve Gillespie, 1997; DeRose, 2004; Innes vd., 2005; Kashian vd., 2005; Stancioiu ve O'Hara, 2006; Jagodziński ve Kalucka, 2008; DeRose ve Seymour, 2010; Pokorný ve Stojnič, 2012; Bequet vd., 2012). Buna karşın, tek ağaç bazında YAİ değerinin tahmin edilmesi amacıyla da tek ağaçlara özgü çap, boy, göğüs yüzeyi, hacim ve tepe boyutları gibi özelliklerin bağımsız değişken olarak ayrı ayrı ya da birlikte kullanıldığı allometrik denklemler geliştirilmiş ve çeşitli ağaç türlerinde YAİ değerleri için parametre tahminleri yapılmıştır (Penner ve Deblonde, 1996; Kenefic, 2000; Turner vd., 2000; Pace, 2003; Khosravi vd., 2012; Jones vd., 2015; Chaturvedi vd., 2017).

YAİ değerinin meşcereye yapılan silvikültürel müdahalelerden etkilendiği belirtilmekte olup, mutedil ve kuvvetli aralamanın yapıldığı meşcerelerde YAİ değerinin oldukça azaldığı, ancak yapılan müdahalelerden 3-4 yıl sonra müdahale öncesindeki değere yaklaştığı ortaya konulmuştur (Cutini vd., 1998; Pace, 2003; DeRose, 2004; DeRose ve Seymour, 2012).

Ülkemizde ormancılık alanında YAİ ile ilgili bilimsel araştırmalara son yıllarda önem verilmiş olsa da bu konuda yapılan çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Ulusal anlamda ilk çalışmalar fidanların yaprak alanları ile ilgili araştırmalar olup, bu çalışmalardan birinde karaçam ile sedir fidanlarında yaprak alanının dip çap ve boy artımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Eğirdir Orman Fidanlığı'ndan temin edilen 1 ve 2 yaşlı karaçam fidanları ile 2 yaşlı Toros sediri fidanları üzerinde yürütülen bu çalışmada, yaprak alanı ve dolayısıyla yaprak miktarı ile fidanların dip çaplarına ve boylarına ilişkin artımlar arasında parabolik bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Carus ve Çatal, 2005). Diğer bir çalışmada ise karaçam ve sarıçam fidanlarında çap, boy, hacim ve ağırlığın YAİ miktarı üzerindeki etkisi incelenmiş olup, bu amaçla (2+0) yaşlı toplam 40 fidanda ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda karaçam fidanlarına ilişkin YAİ değerinin sarıçam fidanlarına göre yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Öner ve Çakır, 2006).

Ateşoğlu (2009), Bartın ili Mugada bölgesinde bulunan ve ağırlıklı olarak kayın meşcerelerinin oluşturduğu havzada farklı uydu görüntü verileri ile meşcere parametreleri arasındaki ilişkileri incelemiştir. Araştırma sonucunda, çalışmada kullanılan vejetasyon indekslerinden biri olan YAİ değeri ile meşcere orta boyu, meşcere göğüs yüzeyi ve meşcere hacmi arasında korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bartın ilinde yürütülen bir diğer çalışmada ise kayın ve göknar türlerinin saf ve karışık meşcerelerinde YAİ ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve çalışma sonucunda YAİ ile nem ve pH arasında negatif yönde ilişki olduğu tespit edilmiştir (Kara vd., 2011).

Özbayram (2014), Düzce Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisindeki doğu kayını meşcerelerinde aralamanın YAİ üzerine etkisini araştırmak amacıyla 5 deneme sahasını incelemiş ve aralama yapılan meşcerelerde 3–4 yıl sonra YAİ'nin eski değerine ulaştığını belirlemiştir. Ayrıca, meşcere orta çapı ile YAİ arasında pozitif yönlü ilişki olduğunu ifade etmiştir.

Özbayram vd. (2015), Acıpayam Orman İşletme Müdürlüğü saf kızılçam ve karaçam meşcerelerinde YAİ değeri ile bazı meşcere parametreleri arasındaki ilişkileri incelemişler ve YAİ değerinin kızılçam meşcerelerinde meşcere yaşı, orta çap, üst boy, meşcere göğüs yüzeyi, dallı gövde yüksekliği ve ölü örtü kalınlığı ile pozitif yönlü, karaçam meşcerelerinde ise meşcere yaşı ve orta çap ile negatif yönlü ilişki gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Ercanlı vd. (2018), Yenice Orman İşletme Şefliği (Çankırı) karaçam meşcerelerinde çeşitli meşcere özellikleri (yaş, göğüs yüzeyi, ağaç sayısı, bonitet endeksi gibi) ile YAİ arasındaki ilişkileri incelemişler ve YAİ tahminlerinde kullanmak üzere regresyon tabanlı ve yapay sinir ağları tabanlı iki farklı modelleme yaklaşımını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, yapan sinir ağlarıyla kurulan modelin tahmin başarısının (R^2=0,63) doğrusal regresyon modelinin tahmin başarısından (R^2=0,54) daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.

Oktan (2019), Kozan Orman İşletme Müdürlüğü saf Toros göknarı meşcerelerinde farklı bakılardaki 45 örnek ağaçtan alınan ibre örnekleri ile YAİ değerini doğrudan

yöntem kullanarak belirlemiştir. Çalışma sonucunda kuzeyli bakılardaki ağaçların YAİ değerlerinin güneyli bakılarda yer alan ağaçların YAİ değerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Topaçoğlu ve Göztaşı (2019), Taşköprü-Tekçam sarıçam klonal tohum bahçesinde yürüttükleri çalışmada, YAİ ile klonlardaki kozalak sayısı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu, ancak YAİ ile göğüs çapı arasında ise anlamlı ilişki bulunmadığını belirtmişlerdir.

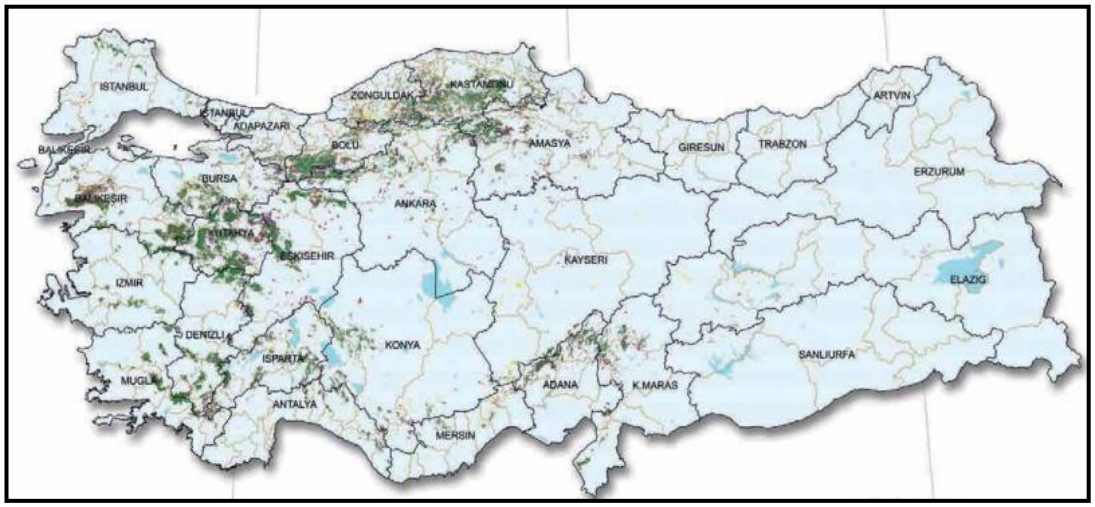
Literatüre bakıldığında, YAİ'nin tahmin edilmesinde yersel ölçümler gibi uzaktan algılama tekniklerinin de oldukça popüler olarak kullanıldığı görülmektedir (Zheng ve Moskal, 2012; Zheng vd., 2013). Son yıllarda yapılan çalışmalarda, uzaktan algılama teknikleri ile yapılan YAİ tahminlerinin başarısını artırmak amacıyla yapay zeka tekniklerine de başvurulmaktadır (Shoemaker ve Croppe, 2008; Verger vd., 2008; Omer vd., 2016; Wang vd., 2017).

Bu çalışmada, Kastamonu yöresinde yayılış gösteren eşit yaşlı, saf ve doğal karaçam meşcerelerinde YAİ değerlerinin çeşitli meşcere özellikleri (orta çap, meşcere yaşı, üst boy, bonitet endeksi, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, sıklık derecesi, tepe biyokütlesi ve tepe boyutları) ile ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca, YAİ değerlerinin söz konusu meşcere özelliklerinden yararlanılarak tahmin edilmesinde kullanılabilecek regresyon denklemleri geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

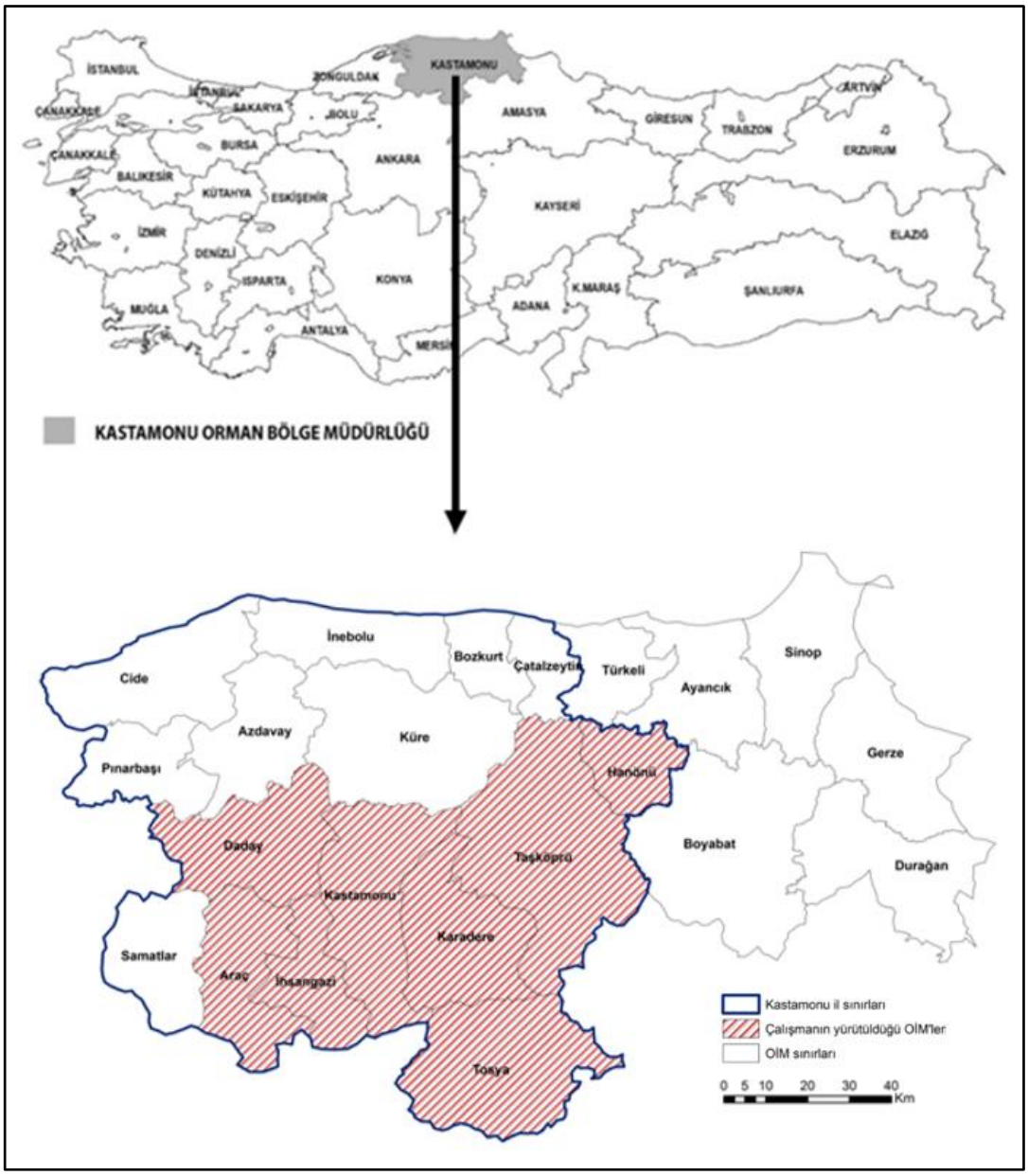
Ülkemizde, yaklaşık 22,7 milyon ha olan toplam orman varlığının %47'si (10,7 milyon ha) iğne yapraklı (ibreli) türlerden oluşmaktadır. İğne yapraklı türler arasında kızılçamdan sonra en geniş yayılış alanına sahip olan ağaç türü karaçamdır (Şekil 2.1). Yaklaşık 4,3 milyon ha'lık toplam yayılış alanına sahip karaçam meşcerelerinin %65'i (2,8 milyon ha) normal kapalı ve %35'i (1,5 milyon ha) ise boşluklu kapalı niteliğindedir (OGM, 2019).



Şekil 2.1 Karaçam'ın Türkiye'deki yayılışı (OGM, 2013)

Türkiye'de orman varlığı bakımından ön sıralarda yer alan Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü'nün toplam orman alanı 1,2 milyon ha'ın üzerinde olup, çalışma alanı olarak seçilen Kastamonu ili de yaklaşık 873 bin ha orman alanına sahiptir (OGM, 2019). Kastamonu yöresinde bulunan karaçam meşcerelerinin miktarlarının belirlenmesi amacıyla Kastamonu il sınırları içerisinde yer alan Orman İşletme Müdürlüklerine (OİM) bağlı Orman İşletme Şefliklerinin amenajman planları incelenmiş ve Taşköprü OİM'de 39,6 bin ha, Tosya OİM'de 23,7 bin ha, Karadere OİM'de 22,8 bin ha, Araç OİM'de 20,2 bin ha, Kastamonu OİM'de 18,3 bin ha, Daday OİM'de 15,9 bin ha, Samatlar OİM'de 13,7 bin ha, İhsangazi OİM'de 11,6 bin ha ve Hanönü OİM'de 4,9 bin ha olmak üzere yaklaşık 171 bin ha saf ve verimli karaçam meşceresi bulunduğu belirlenmiştir.

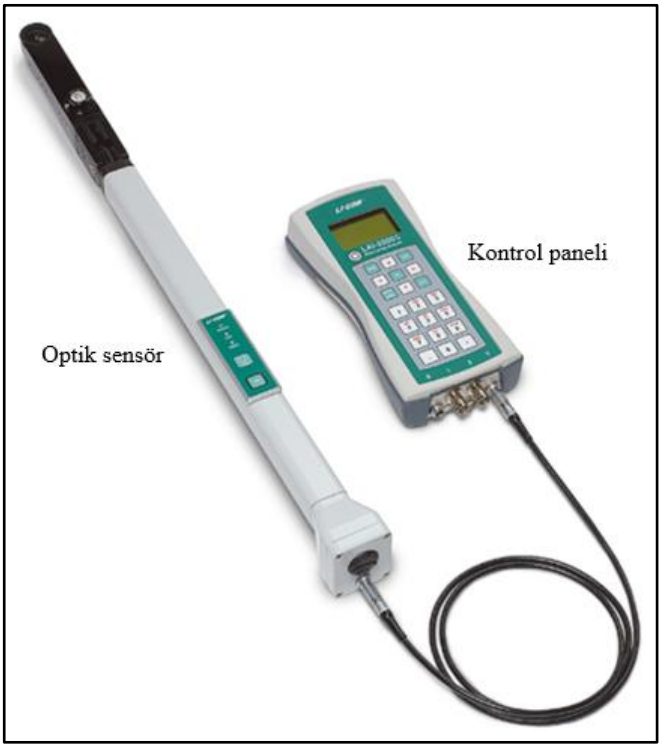
Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler, Kastamonu yöresinde yayılış gösteren eşit yaşlı, saf ve doğal karaçam meşcerelerinden elde edilmiştir. Bu amaçla, Kastamonu il sınırları içerisinde bulunan karaçam meşcerelerinden 119 örnek alan alınmıştır. Örnek alanların OİM'lere dağıtımında OİM'lerin karaçam varlıkları dikkate alınmış ve mümkün olduğunca ağırlıklı dağıtım yapılmaya çalışılmıştır. Böylelikle; 119 örnek alandan 32'si Taşköprü OİM'den, 11'i Tosya OİM'den, 26'sı Karadere OİM'den, 15'i Araç OİM'den, 7'si Kastamonu OİM'den, 4'ü Daday OİM'den, 12'si İhsangazi OİM'den ve 12'si de Hanönü OİM'den alınmıştır. Kastamonu Orman Bölge Müdürlüğü ile bünyesindeki OİM'lerin konumları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Çalışma alanının konumu

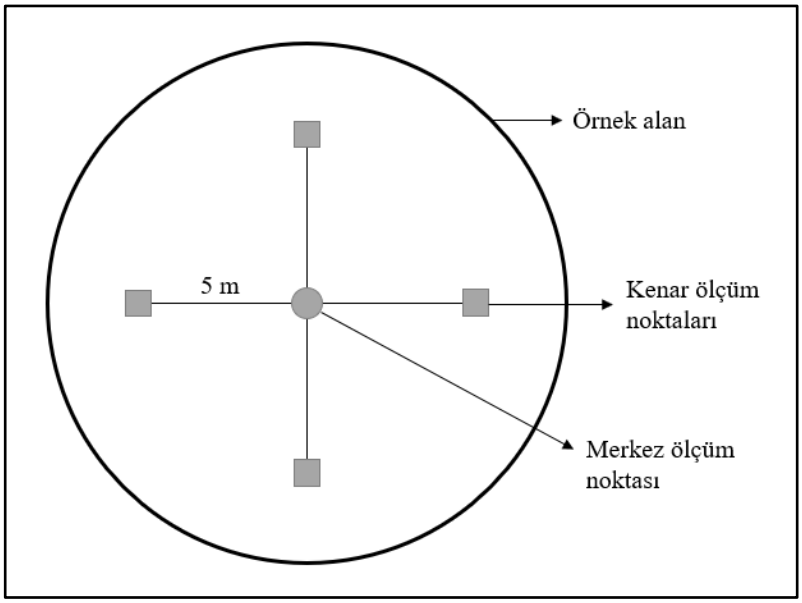
Örnek alanların şekilleri dairesel olup, büyüklüklerinin de meşcere kapalılığına bağlı olarak 3 kapalı (>%70) meşcerelerde 400 m^2, 2 kapalı (%40-70) meşcerelerde 600 m^2 ve 1 kapalı (%10-40) meşcerelerde 800 m^2 olmasına çalışılmıştır. Ancak, örnek alan büyüklükleri belirlenirken her bir örnek alan içerisine en az 30 ağaç düşmesine olabildiğince dikkat edilmiş ve ayrıca ağaç sayısının oldukça fazla olduğu bazı genç meşcerelerde ölçüm ve kayıt işlemlerindeki koordinasyonu sağlamak üzere örnek alan büyüklüğü 200 m^2'ye düşürülmüştür. Sonuç olarak, çalışma materyalinin elde edildiği örnek alanların büyüklükleri 200 m^2 ile 1000 m^2 arasında değişim göstermiştir.

Örnek alanlarda öncelikle YAİ değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerde LAI-2200C PCA cihazından yararlanılmıştır. YAİ ölçümleri için özel olarak geliştirilmiş olan bu cihazın kullanımı pratiktir. Ayrıca, ormanlık alanlardaki YAİ değerinin belirlenmesinde de yüksek başarıya sahiptir. LAI-2200C PCA cihazı ölçüm öncesi ayarlamaların yapıldığı ve verilerin kayıt edildiği kontrol paneli ile 148° görüş açılı balıkgözü lens yardımıyla 320-490 nanometre arasında kısa dalga boylu ve yüksek frekanslı ışık radyasyonunun ölçülmesini sağlayan optik filtre, ayna, optik algılayıcı ve mercek gibi bileşenleri içeren optik sensör olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 LAI-2200C PCA cihazı

Örnek alanlarda yapılan YAİ ölçümleri sırasında, Selin (2019) tarafından önerilen ve örnek alan merkezi ile doğu, batı, kuzey ve güney doğrultularında merkeze 5 m uzaklıktaki noktalarda olmak üzere toplam 5 ölçüm içeren ölçüm deseni uygulanmıştır (Şekil 2.4). LAI-2200C PCA cihazı yardımıyla yapılan YAİ ölçümlerinde hassasiyeti artırabilmek için vejetasyon tipine bağlı olarak farklı ölçeklerde (10°, 45°, 90°, 180° ve 270°) kapatıcı başlıklar kullanılmakta olup, meşcerelerde yapılan YAİ ölçümleri için genellikle 90°'lik kapatıcı başlık tercih edilmektedir (Jonckheere vd., 2005; Goude vd., 2019). Bu çalışmada da 90°'lik kapatıcı başlık kullanılmıştır. Ölçümler sırasında öncelikle meşcere dışında açıklık bir alanda ölçüm yapılarak cihaz kalibre edilmiş ve sonrasında her bir örnek alan içerisinde bulunan 5 ölçüm noktasında ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4 YAİ ölçüm deseni

Örnek alanlarda, YAİ ölçümlerine ek olarak çeşitli meşcere özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla aşağıda açıklanan ölçüm ve işlemler yapılmıştır:

- Örnek alan içerisine düşen ve göğüs çapı ($d_{1,30}$) 8 cm ve daha büyük olan tüm ağaçlar numaralandırılmış ve göğüs çapları ölçülmüştür (Şekil 2.6).
- Meşcereyi temsil eden ve orta çapa yakın 4-5 ağacın göğüs yüksekliğinden artım kalemleri alınmış ve yıllık halka sayıları belirlenmiştir (Şekil 2.6).
- Hektarda 100 ağaç hesabına göre en uzun boylu ağaçların boyları ölçülmüştür.



Şekil 2.5 LAI-2200C PCA cihazı ile yapılan ölçümler



Şekil 2.6 Örnek alanlarda yapılan diğer ölçümler

Örnek alanlarda yapılan ölçümlerle elde edilen veriler ham veri niteliğindedir. Bu veriler kullanılarak meşcerelere ilişkin orta çap, meşcere yaşı, üst boy, bonitet endeksi, bonitet sınıfı, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi ve sıklık değerleri aşağıda açıklandığı şekilde belirlenmiştir:

- Meşcere orta çapı olarak göğüs yüzeyi orta ağacının çapı (d_g) değeri aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır:

$$d_g = \sqrt{\frac{\sum {d_i}^2}{n}} \tag{2.1}$$

Bu eşitlikte; d_i örnek alandaki i. ağaca ilişkin göğüs çapını (cm) ve n örnek alandaki ağaç sayısını (adet) ifade etmektedir.

- Meşcere yaşını belirleyebilmek için, göğüs çapları d_g değerine yakın olan 4-5 ağacın göğüs yüksekliklerinden alınan artım kalemleri üzerindeki yıllık halka sayıları belirlenerek ağaçlara ilişkin göğüs yüksekliği yaşları belirlenmiştir. Bu değerlere, karaçamın örnek alan alınan yetişme ortamında göğüs yüksekliğine ulaştığı tahmini süreler eklenerek de ağaçların yaşları elde edilmiştir. Yaş tespiti yapılan ağaçlara ilişkin yaşların aritmetik ortalaması alınarak da meşcere yaşları hesaplanmıştır.

- Örnek alanların alındığı meşcerelerin yetişme ortamı verim gücünün belirlenmesinde Kalıpsız (1963) tarafından düzenlenen bonitet endeks tablosundan yararlanılmıştır. Bonitet endeks tablosunun kullanılabilmesi için gereken üst boy değerleri, hektarda 100 ağaç hesabına göre örnek alana düşen sayıda en uzun boylu ağaçların boyları ortalaması alınarak belirlenmiştir. Elde edilen üst boy ve meşcere yaşı değerleri yardımıyla da örnek alanlara ilişkin bonitet endeksleri (*BE*) hesaplanmış ve bonitet sınıfları belirlenmiştir. Bonitet sınıflarına ilişkin sınır değerleri olarak; I. Bonitet Sınıfı için $BE \geq 29{,}5$ m, II. Bonitet Sınıfı için $24{,}5 \leq BE < 29{,}5$ m, III. Bonitet Sınıfı için $19{,}5 \leq BE < 24{,}5$ m, IV. Bonitet Sınıfı için $14{,}5 \leq BE < 19{,}5$ m ve V. Bonitet Sınıfı için $BE < 14{,}5$ m değerleri dikkate alınmıştır (Kalıpsız, 1963).

- Örnek alan içerisine düşen ağaç sayısının (adet) hektara çevirme katsayısı ile çarpılması sonucunda birim alandaki ağaç sayısı (adet/ha) değerleri elde edilmiştir:

$$N = \frac{10000}{a} n \quad (2.2)$$

Bu eşitlikte; *N* hektardaki ağaç sayısını (adet/ha), *n* örnek alandaki ağaç sayısını (adet) ve *a* örnek alan büyüklüğünü (m^2) ifade etmektedir.

- Meşcere göğüs yüzeyi, örnek alan içerisindeki ağaçların göğüs yüzeyleri toplamının hektara çevirme katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır:

$$G = \frac{10000}{a} \frac{\pi}{4} \sum {d_i}^2 \quad (2.3)$$

Bu eşitlikte; *G* hektardaki göğüs yüzeyini (m^2/ha), d_i örnek alandaki *i*. ağaca ilişkin göğüs çapını (cm) ve *a* örnek alan büyüklüğünü (m^2) ifade etmektedir.

- Meşcere sıklığı ölçütü olarak Curtis vd. (1981) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır ve sıklık derecesi (SD) aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır:

$$SD = \frac{G}{\sqrt{d_g}} \quad (2.4)$$

Bu eşitlikte; *SD* sıklık derecesini, *G* meşcere göğüs yüzeyini (m^2/ha) ve d_g meşcere orta çapını (cm) ifade etmektedir.

Bu çalışmada, YAİ ile yukarıda açıklanan meşcere özelliklerinin yanında meşceredeki ağaçların toplam tepe biyokütlesi ve tepe boyutları ortalamaları arasındaki ilişkiler de araştırılmıştır. Bu amaçlarla, Sakıcı vd. (2018a) tarafından geliştirilen Eşitlik 2.5 ve Eşitlik 2.6 kullanılarak sırası ile örnek alandaki ağaçlara ilişkin dal ve ibre biyokütleleri tahmin edilmiş, bu iki değer toplanarak da ağaçların tepe biyokütleleri hesaplanmıştır. Örnek alan içerisindeki ağaçlara ilişkin tepe biyokütlelerinin toplanması ve bu değerin hektara çevirme katsayısı ile çarpılması ile de hektardaki toplam tepe biyokütlesi (kg/ha) değeri hesaplanmıştır.

$$M_{dal} = 0{,}055\ {d_{1,30}}^2 \quad (2.5)$$

$$M_{ibre} = 0{,}021\ {d_{1,30}}^2 \quad (2.6)$$

$$M_{tepe} = M_{dal} + M_{ibre} \quad (2.7)$$

Bu eşitliklerde; M_{dal}, M_{ibre} ve M_{tepe} sırası ile dal, ibre ve toplam tepe biyokütlesini, $d_{1,30}$ ise örnek ağaçların göğüs çaplarını (cm) ifade etmektedir.

Örnek alanlardaki ağaçların tepe çapı ve tepe uzunlukları Sakıcı vd. (2018b) tarafından geliştirilen Eşitlik 2.8 ve Eşitlik 2.9 kullanılarak tahmin edilmiştir. Örnek alan içerisindeki tüm ağaçlara ilişkin tahmin edilen tepe çapı ve tepe uzunluğu değerlerinin ortalaması alınarak da ortalama tepe çapı ve ortalama tepe uzunluğu değerleri elde edilmiştir (Eşitlik 2.10 ve 2.11):

$$D_T = e^{2,4049-15,8050/d_{1,30}} \quad (2.8)$$

$$H_T = e^{2,3418-10,2294/d_{1,30}} \quad (2.9)$$

$$D_{T(ort)} = \frac{\sum D_T}{n} \quad (2.10)$$

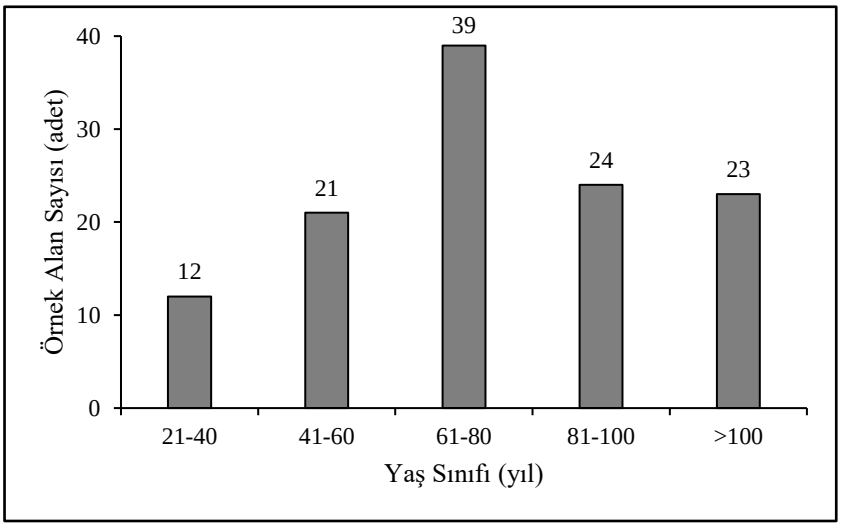
$$H_{T(ort)} = \frac{\sum H_T}{n} \quad (2.11)$$

Bu eşitliklerde; D_T ve H_T sırası ile örnek alan içerisindeki ağaçlara ilişkin tepe çapı (m) ve tepe uzunluğu (m) değerlerini, $D_{T(ort)}$ ve $H_{T(ort)}$ sırası ile örnek alanlara ilişkin ortalama tepe çapı (m) ve ortalama tepe uzunluğu (m) değerlerini, $d_{1,30}$ örnek ağaçların göğüs çaplarını (cm) ve n ise örnek alan içerisindeki ağaç sayısını ifade etmektedir.

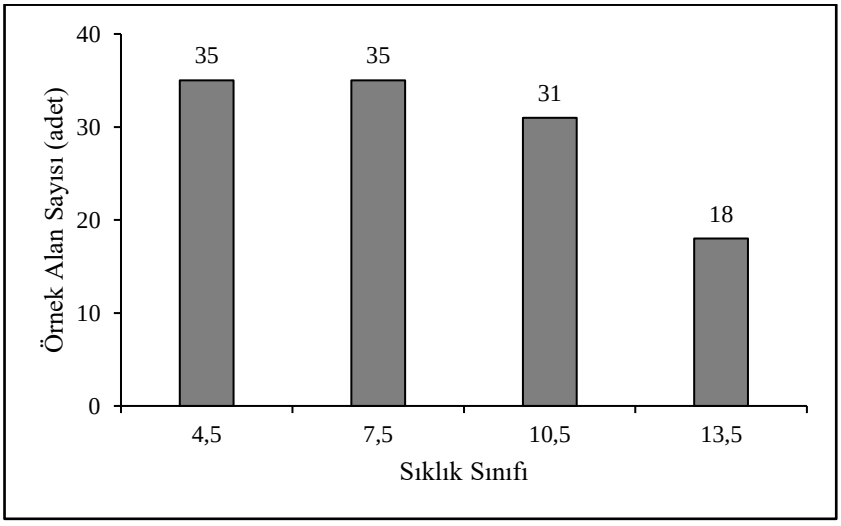
Çalışma kapsamında alınan 119 örnek alan için belirlenen meşcere özelliklerine ilişkin istatistiksel bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir. Tablo 2.1 incelendiğinde, örnek alanların oldukça farklı yaş, sıklık ve bonitet sınıfındaki meşcerelerden alındığı görülmektedir. Söz konusu farklılığı ayrıntılı bir şekilde inceleyebilmek için örnek alanların yaş, sıklık ve bonitet sınıflarına dağılımları sırasıyla Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.1 Örnek alanlara ilişkin istatistiksel bilgiler

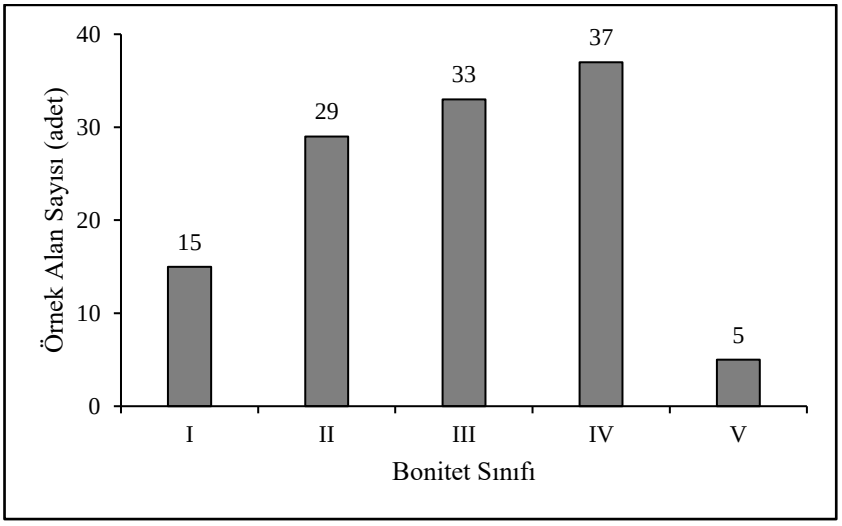
Meşcere Özelliği	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
Yaprak Alan İndeksi (m^2m^{-2})	0,79	3,83	2,32	0,74
Orta Çap (cm)	11,4	48,9	27,9	8,6
Yaş (yıl)	28	137	74,9	25,1
Üst Boy (m)	9,3	30,8	18,2	5,5
Bonitet Endeksi (m)	11,2	43,9	22,5	6,2
Ağaç Sayısı (adet/ha)	190	3300	871,6	541,5
Göğüs Yüzeyi (m^2/ha)	14,65	88,71	44,56	17,74
Sıklık Derecesi	3,70	18,38	8,51	3,13
Tepe Biyokütlesi (ton/ha)	14,18	85,88	43,13	17,17
Tepe Çapı Ortalaması (m)	2,50	7,87	5,78	1,18
Tepe Uzunluğu Ortalaması (m)	3,86	8,33	6,75	0,96



Şekil 2.7 Örnek alanların yaş sınıflarına dağılımı



Şekil 2.8 Örnek alanların sıklık sınıflarına dağılımı



Şekil 2.9 Örnek alanların bonitet sınıflarına dağılımı

2.2 Yöntem

2.2.1 YAİ ile Diğer Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Örnek alanlara ilişkin YAİ değerleri ile diğer meşcere özelliklerinin (orta çap, meşcere yaşı, üst boy, bonitet endeksi, ağaç sayısı, göğüs yüzeyi, sıklık derecesi, tepe biyokütlesi, tepe çapı ortalaması ve tepe uzunluğu ortalaması) normal dağılım gösterip göstermediklerinin belirlenmesi amacıyla Kolmogorov-Smirnov Testi kullanılmıştır.

YAİ değerleri ile diğer meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin gücünün ve yönünün belirlenmesi için Korelasyon Analizi'nden yararlanılmış olup, normal dağılım gösteren meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasında Pearson korelasyon katsayısı ve normal dağılım göstermeyen meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için de Spearman korelasyon katsayısı dikkate alınmıştır. Söz konusu ilişkilerin görsel olarak ortaya konulabilmesi ve değerlendirilebilmesi için ise YAİ ile diğer tüm meşcere özellikleri arasındaki doğrusal ilişkiler grafik eksene taşınmıştır.

Örnek alanlara ilişkin YAİ değerlerinin yaş, sıklık ve bonitet sınıfları bakımından anlamlı farklılık gösterip göstermediklerinin ortaya konulması için Varyans Analizi'nden yararlanılmıştır. Gruplar arası anlamlı farklılık bulunması durumunda ikili karşılaştırmalar için Duncan testi uygulanmıştır.

YAİ ile diğer meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesine yönelik olarak yukarıda açıklanan istatistik analizler için IBM SPSS Statistics 23 yazılımından yararlanılmış olup, analizler p=0,05 önem düzeyi ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.2 YAİ Modellerinin Geliştirilmesi

Bir meşcereye ilişkin YAİ değerinin belirlenmesinde temelde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki doğrudan tahmin yöntemleri ve ikincisi de dolaylı tahmin yöntemleridir (Chason vd., 1991; Smith vd., 1991; Fassnacht vd., 1994; Dufrêne ve Bréda, 1995; Chen vd., 1997; Comeau vd., 1998; Gower vd., 1999; Barclay ve Trofymow, 2000; Küßner ve Mosandl, 2000).

Doğrudan yöntemlerle YAİ değerinin belirlenmesi örnekleme esasına dayanmakta olup, alınan örnek alanlardaki ağaçların tamamının veya örnek alanı temsil eden birkaç örnek ağacın kesilerek yaprak alanlarının belirlenmesi ve birim alana enterpole edilmesi sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Chen vd., 1997; Gower vd., 1999; Jonckheere vd., 2004; Ryu vd., 2010; Liu vd., 2015). Bu örnekleme uygulamalarında örnek ağaçların kesilmesi gerekliliği nedeniyle ağaç kesilmesini gerektirmeyen bir başka örnekleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde meşcere içerisinde belirli aralıklarla yerleştirilen yaprak kapanları ile ağaçlardan dökülen yapraklar toplanmakta ve yaprak örneklerinin öncelikle yaprak alanları ölçülmektedir. Yaprak örnekleri daha sonra kurutma fırınında kurutularak biyokütleleri belirlenmekte ve birim biyokütleye düşen yaprak alanı (m^2/g) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerin birim alandaki yaprak biyokütlesine (g/m^2) oranlanmasıyla da YAİ değeri (m^2/m^2) belirlenmektedir (Ishihara vd., 2011; Yılmaz vd., 2019).

YAİ değerinin doğrudan tahmin yöntemleri ile daha başarılı şekilde belirleniyor olmasına rağmen, bu yöntemlerin uygulanmasının pratik olmaması, fazla zaman ve emek gerektirmesi ve büyük alanlar için uygulanabilirliğinin zor olması gibi nedenlerden dolayı YAİ değerinin belirlenmesinde dolaylı yöntemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır (Welles, 1990; Chason vd., 1991; Burton vd., 1991; Chen vd., 1997; Bréda, 2003). Bu amaçla, meşcere içerisinde ve dışarısındaki ışık yoğunluğu farkından

yararlanarak ölçüm yapabilen optik cihazlar kullanılmaktadır (Lang ve Xiang, 1986; Welles ve Cohen, 1996; Chen vd., 1997; Cutini vd., 1998; Bréda, 2003; Jonckheere vd., 2004; Macfarlane vd., 2007; Özbayram vd., 2015). YAİ tahmininde kullanılan optik cihazlar, balıkgözü lense sahip olan ve olmayan cihazlar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Balıkgözü lens bulunmayan cihazlar sensör algılayıcılarıyla çalıştıkları için ölçümleri tek bir yönde yapmaktadırlar. Balıkgözü lense sahip cihazlarda ise lens açısı birden fazla yönün algılanmasına imkan vermektedir. Bu nedenle orman ekosistemlerindeki YAİ değerinin belirlenmesinde balıkgözü lense sahip optik cihazlar tercih edilmektedir (Stenberg vd., 1994). Bu cihazların çalışma prensibi, Lambert-Beer yasası olarak bilinen ve ışığın bir ortamdan başka bir ortama geçmesi sonucu ortaya çıkan ışık kırılması olarak açıklanan olayın meşcere içerisindeki ışık radyasyonu ölçümleri ile belirlenmesine dayanmaktadır (Cutini, 1998). Dolaylı yöntemler doğrudan yöntemlerle kıyaslandığında hem daha pratik olmaları hem de birim zamanda daha fazla alanın örneklemesine imkan sunmaları nedeniyle daha kullanışlı olarak nitelendirilmektedirler (Chen vd., 1997; Van Gardingen vd., 1999; Gonsamo ve Pellikka, 2009; Pueschel vd., 2012; Zhao vd., 2014).

Kastamonu yöresi karaçam meşcerelerinde yürütülen bu çalışmada örnek alanlara ilişkin YAİ değerleri dolaylı yöntemlerden LAI-2200C PCA cihazı ile ölçülmüştür. Ancak, YAİ değerlerinin özellikle herhangi bir ölçüm cihazının mevcut olmadığı envanter çalışmaları sırasında ya da halihazırda tamamlanmış envanter çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak tahmin edilebilmesi için geliştirilecek regresyon denklemleri pratik açıdan oldukça büyük öneme sahiptir. Çalışma kapsamında, Regresyon Analizi yardımıyla YAİ değerini bağımlı değişken ve çeşitli meşcere özelliklerini de bağımsız değişkenler olarak içeren regresyon modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, öncelikle veriler Model Verileri ve Kontrol Verileri olmak üzere iki gruba ayrılmış olup, verilerin %75'i (89 örnek alan) birinci gruba ve %25'i de (30 örnek alan) ikinci gruba dahil edilmiştir. Model kurma amacıyla ayrılan veriler regresyon modellerinin geliştirilmesinde kullanılırken, kontrol verileri de geliştirilen modellerin bağımsız bir veri grubu için geçerliliklerinin test edilmesi için kullanılmak üzere ayrılmıştır.

Regresyon modellerinin geliştirilmesi aşamasında öncelikle literatürde sıklıkla kullanılan ve başarılı bulunan bazı doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri belirlenmiş ve ayrıca bu modeller temel alınarak alternatif modeller geliştirilmeye çalışılmıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2 YAİ modellemesi için kullanılan regresyon modelleri

Model	Denklem Formu	Kaynak
LS-1	$YAI = b_0 G^{b_1} {H_{T(ort)}}^{b_2}$	Long ve Smith, 1988
LS-2	$YAI = b_0 {M_{tepe}}^{b_1} {H_{T(ort)}}^{b_2}$	
P-1	$YAI = b_0 (G.H_{T(ort)})^{b_1}$	Pace, 2003
P-2	$YAI = b_0 (SD.H_{T(ort)})^{b_1}$	
DS-1	$\ln YAI = b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln H_{T(ort)}$	DeRose ve Seymour, 2009
DS-2	$\ln YAI = b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln D_{T(ort)}$	
DS-3*	$YAI = b_0 SD^{b_1} BE^{b_2} b_3 {h_{100}}^{b_3 - 1} \exp(-((h_{100}/43) b_3))$	DeRose ve Seymour, 2010

*Bu modelde yer alan 43 m değeri karaçam türünün çalışma alanı içerisinde üst boy (m) gelişimi bakımından asimptota ulaştığı değeri ifade etmektedir.

Literatürden alınan regresyon modellerine ek olarak, meşcerelere ilişkin d_g, t, h_{100}, BE, N, G, SD, M_{tepe}, $D_{T(ort)}$ ve $H_{T(ort)}$ değişkenleri ile bunlardan türetilmiş çeşitli diğer değişkenlerden ($\ln(d_g)$, d_g^2, d_g^{-2}, BE/t gibi) yararlanılarak Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla regresyon denklemleri elde edilmeye çalışılmıştır.

$$YAI = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \cdots + b_n X_n + \varepsilon \quad (2.13)$$

Bu eşitlikte; b_i denklem parametrelerini ve X_i meşcere özelliklerini ifade etmektedir.

Gerek literatürden alınan ve gerekse Aşamalı Regresyon Analizi yardımıyla geliştirilen regresyon modellerinin parametre tahminleri IBM SPSS Statistics 23 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Regresyon modellerinin YAİ tahmin başarıları beş farklı istatistiksel ölçüt (Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı, Ortalama Hata, Ortalama Mutlak Hata, Hata Kareler Ortalamasının Karekökü ve Akaike Bilgi Ölçütü) yardımıyla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu ölçütler aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır:

Düzeltilmiş Belirtme Katsayısı ($R^2_{düz}$):

$$R^2_{düz} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(YAI_i - \widehat{YAI}_i)^2(n-1)}{\sum_{i=1}^{n}(YAI_i - \overline{YAI}_i)^2(n-p)} \quad (2.14)$$

Ortalama Hata (*OH*):

$$OH = \frac{\sum_{i=1}^{n}(YAI_i - \widehat{YAI}_i)}{n} \quad (2.15)$$

Ortalama Mutlak Hata (*OMH*):

$$OMH = \frac{\sum_{i=1}^{n}|YAI_i - \widehat{YAI}_i|}{n} \quad (2.16)$$

Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (*HKOK*):

$$HKOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(YAI_i - \widehat{YAI}_i)^2}{n}} \quad (2.17)$$

Akaike Bilgi Ölçütü (*AIC*):

$$AIC = n.\ln(HKOK) + 2p \quad (2.18)$$

Bu eşitliklerde; $YAI_i, \widehat{YAI}_i, \overline{YAI}_i$ sırasıyla örnek alana ilişkin ölçülen, tahmin edilen ve ortalama YAİ değerlerini, *n* gözlem sayısını ve *p* denklemin parametre sayısını ifade etmektedir.

Geliştirilen regresyon modelleri, yukarıda açıklanan istatistiksel ölçütlerden yararlanılarak Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen rölatif sıralama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Rölatif sıralama yönteminde tahmin hatalarına dayalı istatistiksel ölçütler (*OH, OMH, HKOK* ve *AIC*) için en küçük değere ve $R^2_{düz}$ ölçütü için ise en büyük değere sahip model en başarılı model olarak seçilmekte ve diğer modellerin rölatif sıralamaları da bu ölçütlere göre belirlenmektedir. Hesaplanan istatistiksel ölçütler için denklemlere ilişkin rölatif sıralamalar hesaplandıktan sonra bu sıralama değerleri toplanarak toplam rölatif sıralama değerleri belirlenmiş ve toplam rölatif sıralama değerleri dikkate alınarak yapılan rölatif sıralamaya göre de modellere ilişkin genel sıralama değerleri elde edilmiştir. Rölatif sıralamada kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(e_i - e_{min})}{(e_{maks} - e_{min})} \quad (2.19)$$

Bu eşitlikte;

R_i: i. fonksiyona ilişkin rölatif sıra,

e_i: i. fonksiyona ilişkin istatistiksel ölçüt değeri,

e_{min}: fonksiyonlar arasındaki en düşük e_i değeri,

e_{maks}: fonksiyonlar arasındaki en yüksek e_i değeri,

m: karşılaştırılan model sayısı.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 YAİ ile Meşcere Özellikleri Arasındaki İlişkiler

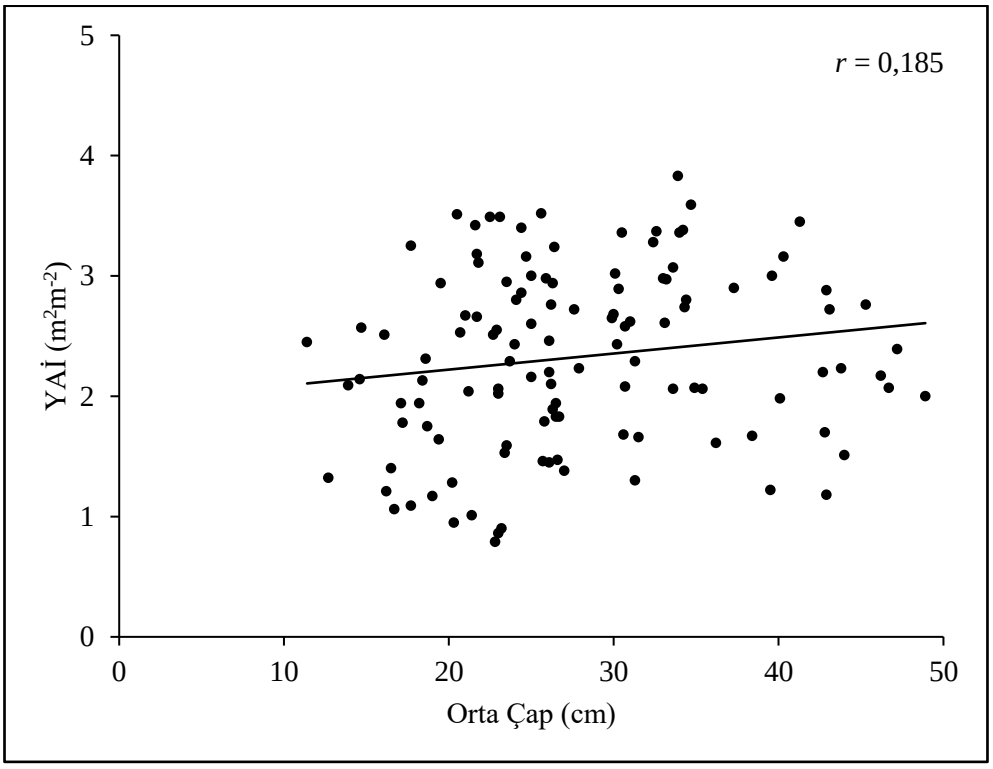
Örnek alanlarda yapılan ölçümler ile belirlenen YAİ ve diğer meşcere özelliklerinin normal dağılıma uygunluklarının belirlenmesi amacıyla yapılan Kolmogorov-Smirnov Testi sonuçlarına göre; yaprak alan indeksi, meşcere yaşı, üst boy, bonitet endeksi, göğüs yüzeyi, sıklık derecesi, tepe biyokütlesi, tepe çapı ortalaması ve tepe uzunluğu ortalaması değerlerinin normal dağılım gösterdiği (p>0,05), ancak orta çap ve ağaç sayısı değerlerinin normal dağılıma uygun olmadığı (p<0,05) belirlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak, çalışma kapsamında orta çap ve ağaç sayısı değerlerine ilişkin olarak gerçekleştirilen istatistik analizlerde parametrik olmayan testlerden yararlanılırken, YAİ ile diğer meşcere özelliklerine ilişkin analizlerde parametrik testler uygulanmıştır.

YAİ ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen Korelasyon Analizi sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; YAİ ile göğüs yüzeyi, sıklık derecesi ve tepe biyokütlesi arasında pozitif yönlü ve güçlü ilişkiler olduğu, YAİ ile üst boy ve ağaç sayısı arasındaki pozitif yönlü ilişkilerin orta seviyede olduğu ve YAİ ile orta çap ve bonitet endeksi arasındaki ilişkilerin de yine pozitif yönlü ancak zayıf ilişkiler olduğu belirlenmiştir (p<0,05). Buna karşın, YAİ ile meşcere yaşı, tepe çapı ortalaması ve tepe uzunluğu ortalaması değerleri arasında anlamlı korelasyon bulunamamıştır (p>0,05). Elde edilen sonuçlara göre YAİ ile en güçlü anlamlı ilişkiyi meşcere sıklığı (r=0,687) gösterirken, en zayıf anlamlı ilişkiyi ise orta çap (r=0,185) göstermektedir. YAİ değerinin meşcere özellikleri ile göstermiş olduğu doğrusal ilişkiler grafikler yardımıyla da ortaya konulmuştur (Şekil 3.1-Şekil 3.10).

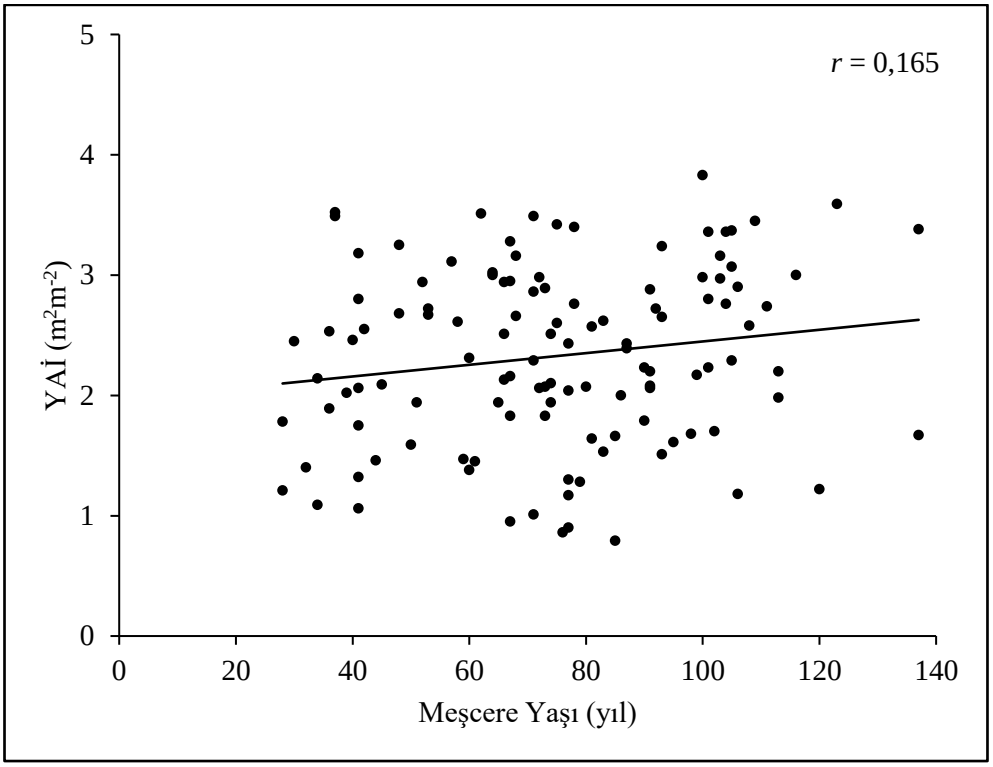
Tablo 3.1 YAİ ve diğer meşcere özellikleri arasındaki korelasyon analizi sonuçları

Meşcere Özelliği	Korelasyon Katsayısı (*r*)	p
Orta Çap (cm)	0,185^{S}	0,044*
Yaş (yıl)	0,165^{P}	0,073^{ns}
Üst Boy (m)	0,398^{P}	<0,001*
Bonitet Endeksi (m)	0,265^{P}	0,004*
Ağaç Sayısı (adet/ha)	0,334^{S}	<0,001*
Göğüs Yüzeyi (m^2/ha)	0,684^{P}	<0,001*
Sıklık Derecesi	0,687^{P}	<0,001*
Tepe Biyokütlesi (ton/ha)	0,684^{P}	<0,001*
Tepe Çapı Ortalaması (m)	0,169^{P}	0,066^{ns}
Tepe Uzunluğu Ortalaması (m)	0,158^{P}	0,086^{ns}

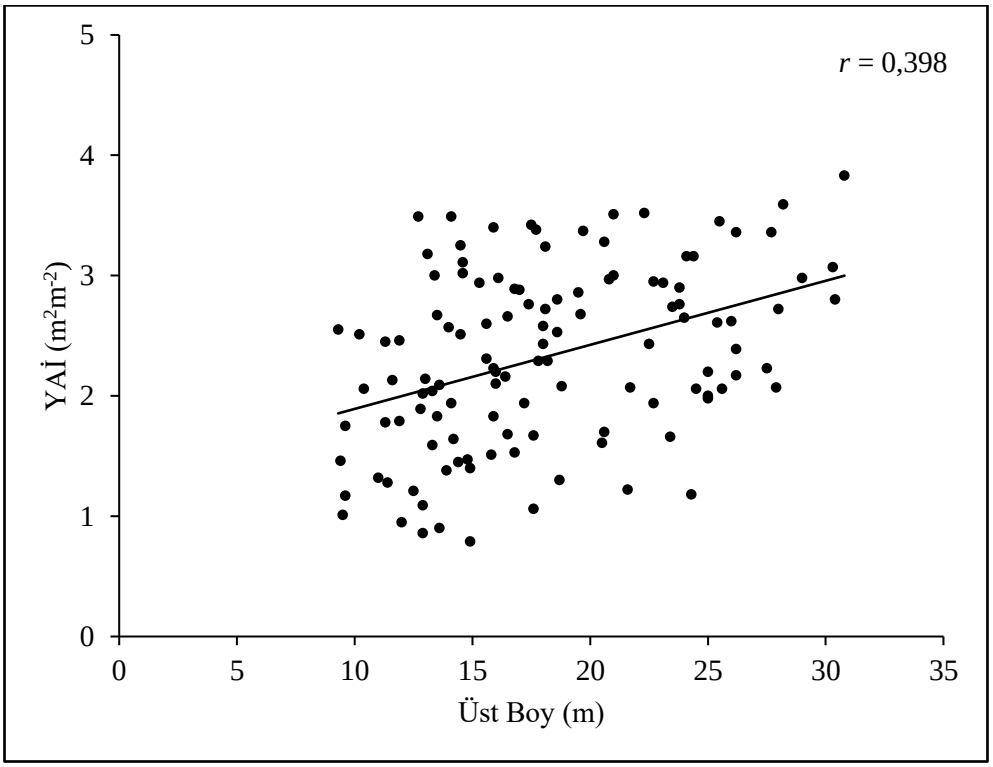
^{P} Pearson korelasyon katsayısı, ^{S} Spearman korelasyon katsayısı, ***** 0,05 önem düzeyinde anlamlı ilişki, ^{ns} 0,05 önem düzeyinde anlamsız ilişki.



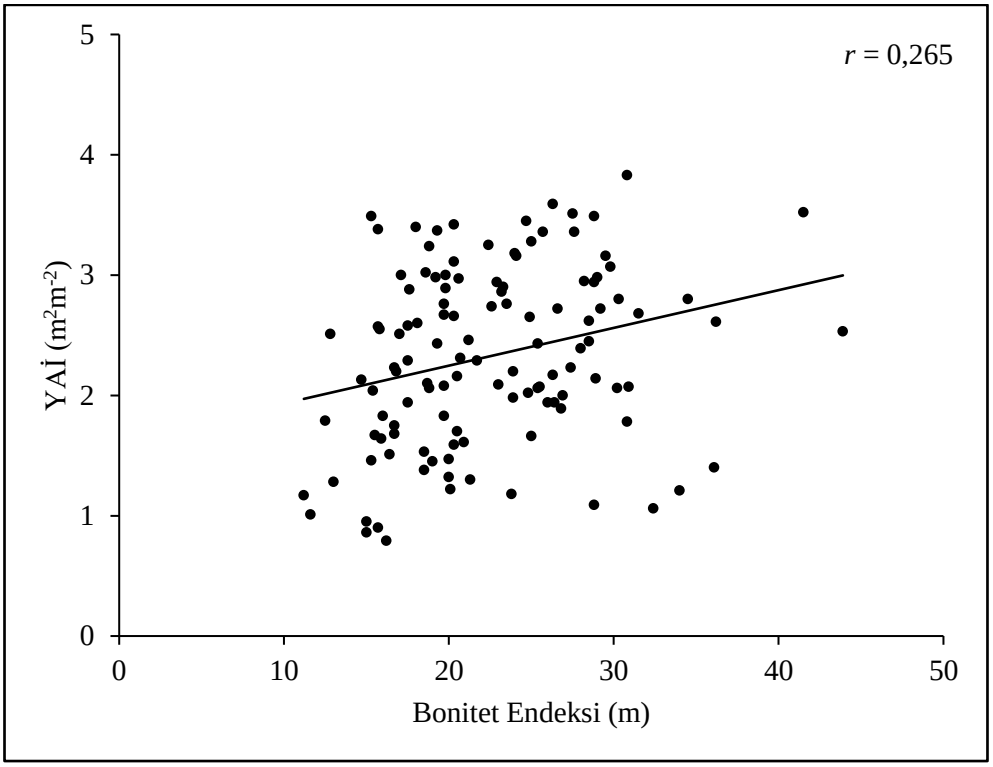
Şekil 3.1 YAİ ile orta çap ilişkisi



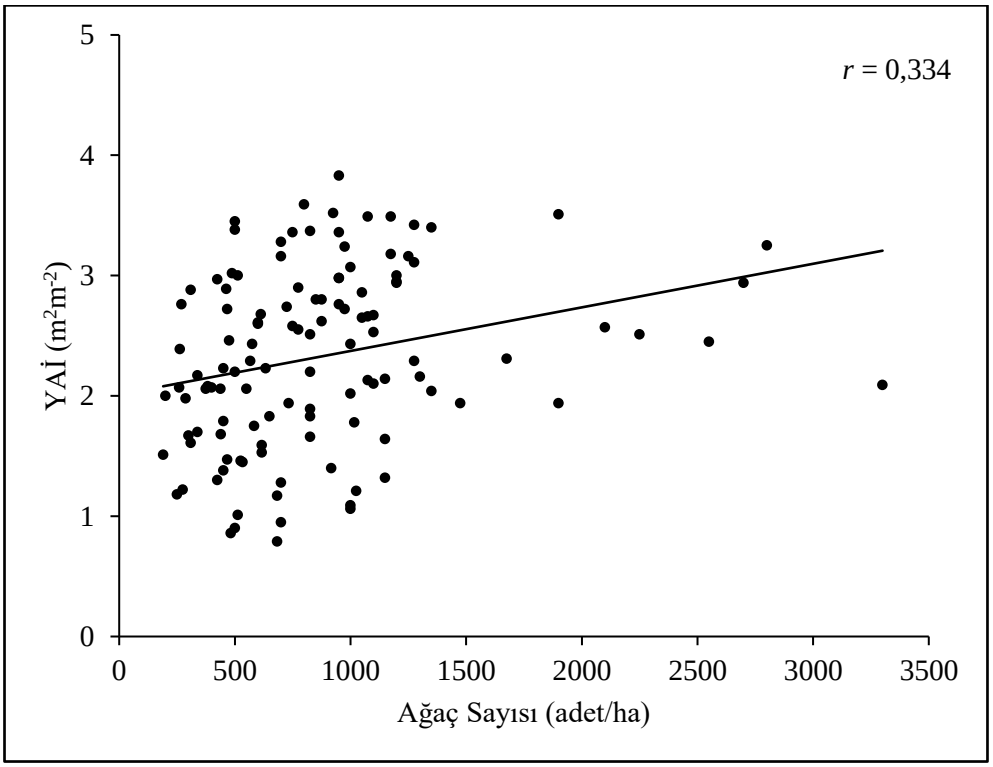
Şekil 3.2 YAİ ile meşcere yaşı ilişkisi



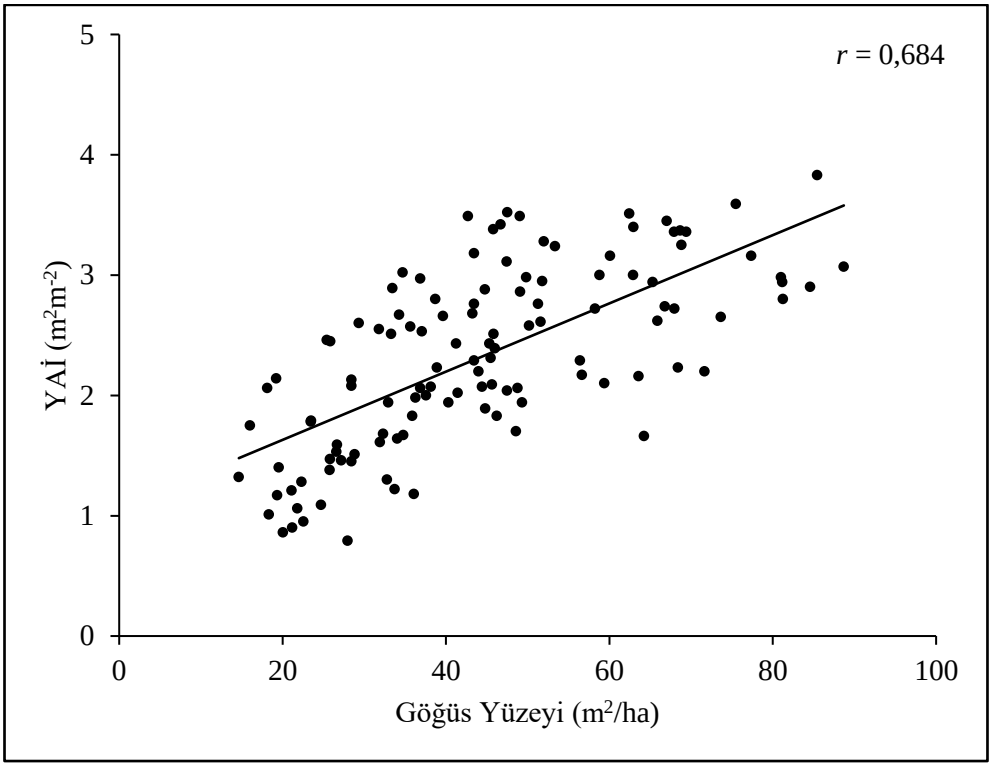
Şekil 3.3 YAİ ile üst boy ilişkisi



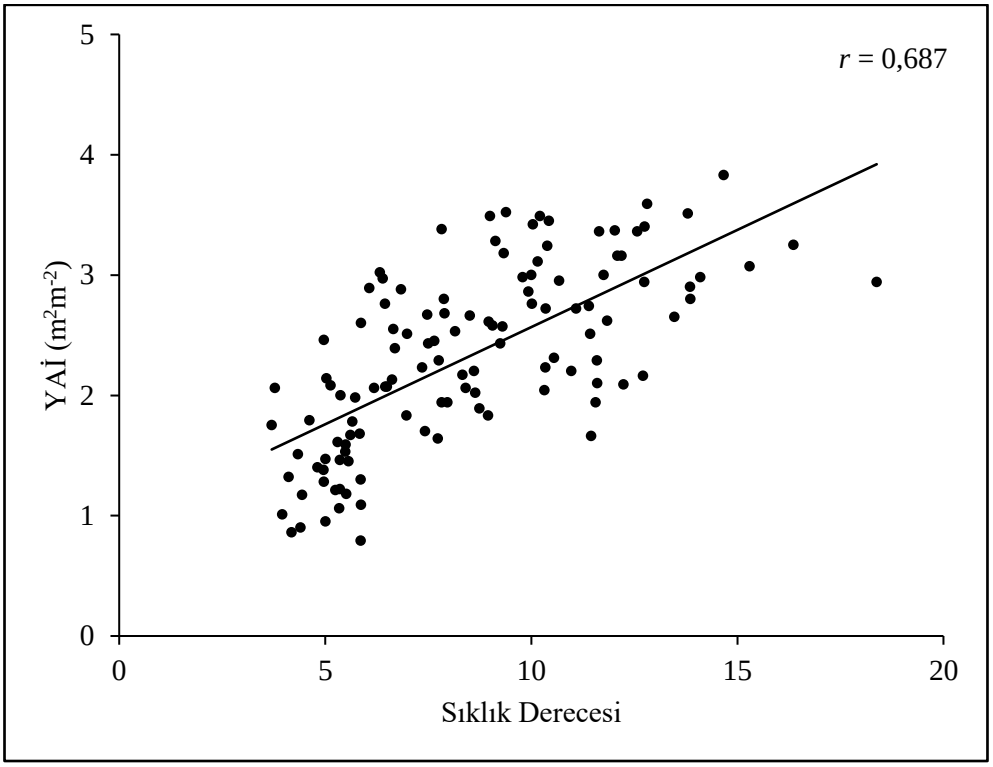
Şekil 3.4 YAİ ile bonitet endeksi ilişkisi



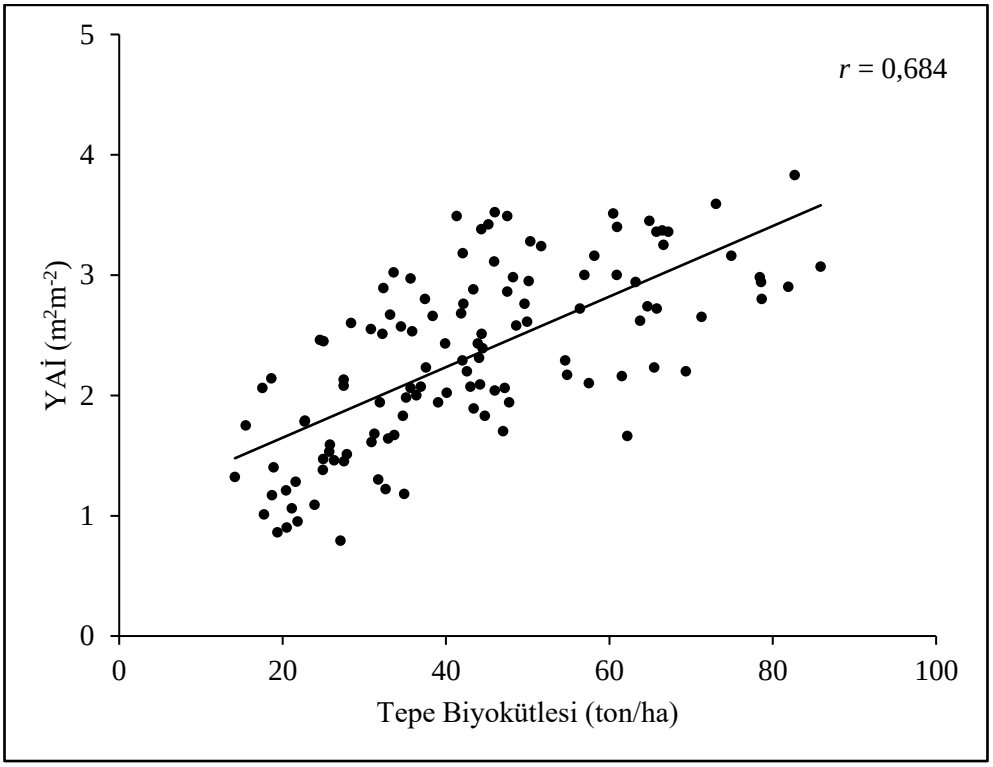
Şekil 3.5 YAİ ile ağaç sayısı ilişkisi



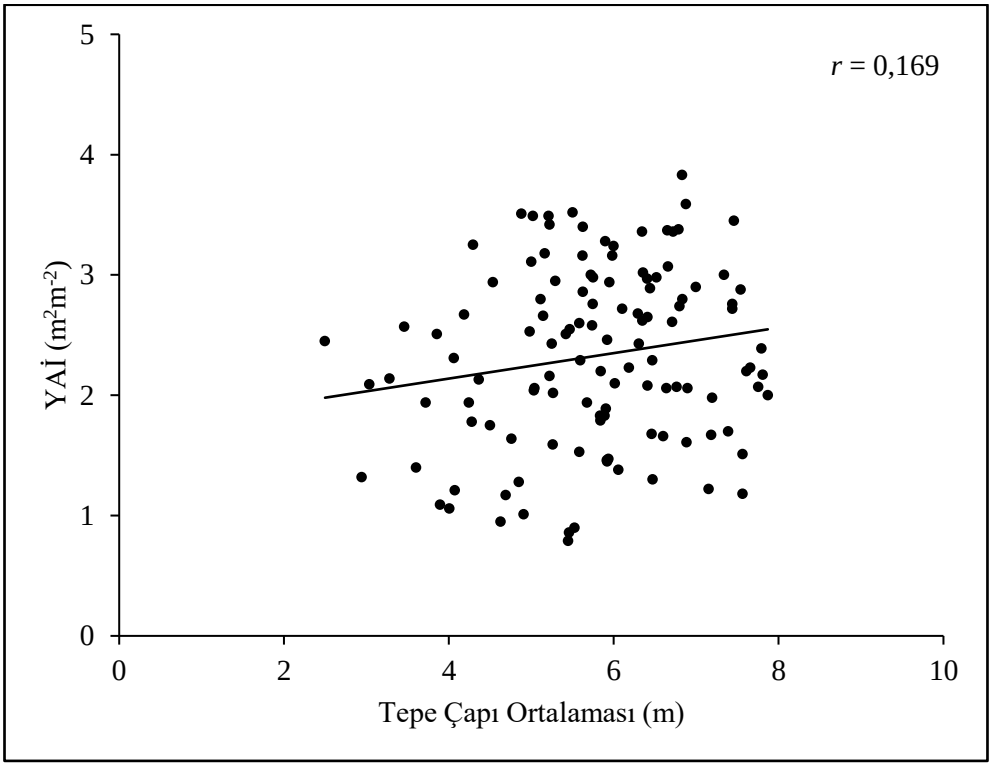
Şekil 3.6 YAİ ile göğüs yüzeyi ilişkisi



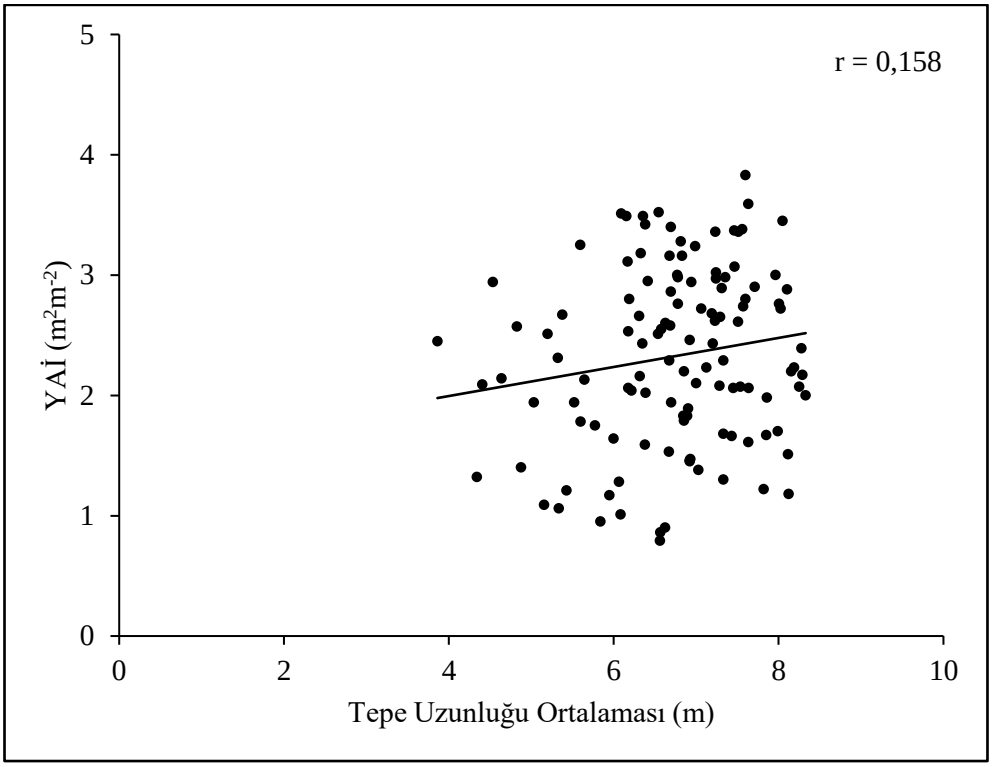
Şekil 3.7 YAİ ile sıklık derecesi ilişkisi



Şekil 3.8 YAİ ile tepe biyokütlesi ilişkisi



Şekil 3.9 YAİ ile tepe çapı ortalaması ilişkisi



Şekil 3.10 YAİ ile tepe uzunluğu ortalaması ilişkisi

YAİ değerlerinin yaş, sıklık ve bonitet sınıfları bakımından anlamlı farklılık gösterip göstermediklerinin belirlenmesi için yapılan Varyans Analizi sonuçlarına göre; YAİ değerleri bakımından yaş sınıfları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı ($p>0,05$), buna karşın sıklık sınıflarının ve bonitet sınıflarının anlamlı farklılık gösterdiği ($p<0,05$) belirlenmiştir (Tablo 3.2). Yaş, sıklık ve bonitet sınıflarına ilişkin ortalama YAİ değerleri ile sıklık ve bonitet sınıfları için tespit edilen farklılıkların hangi grup ya da gruplardan kaynaklandığının ortaya konulması amacıyla uygulanan Duncan testi sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.2 Varyans analizi sonuçları

Meşcere Özelliği	Varyansların Homojenliği Testi		Varyans Analizi	
	Levene	*p*	*F*	*p*
Yaş Sınıfı	0,444	0,776	1,505	0,205^{ns}
Sıklık Sınıfı	0,373	0,773	60,360	<0,001*
Bonitet Sınıfı	0,516	0,724	2,756	0,031*

Gruplar arasında; ***** 0,05 önem düzeyinde anlamlı fark mevcut, ^{ns} 0,05 önem düzeyinde anlamlı fark yok.

Tablo 3.3 Duncan testi sonuçları

Meşcere Özelliği	Gruplar	n	Ortalama YAİ (m^2m^{-2})	Homojen Gruplar*
Yaş Sınıfı	21-40	12	2,17	a
	41-60	21	2,24	a
	61-80	39	2,30	a
	81-100	24	2,22	a
	>100	23	2,65	a
Sıklık Sınıfı	4,5	35	1,51	a
	7,5	35	2,39	b
	10,5	31	2,75	c
	13,5	18	3,06	d
Bonitet Sınıfı	I	15	2,44	b
	II	29	2,56	b
	III	33	2,37	b
	IV	37	2,17	b
	V	5	1,55	a

***** Farklı harflerle gösterilen gruplar arasında 0,05 önem düzeyinde anlamlı farklılık bulunmaktadır.

Tablo 3.3 incelendiğinde; yaş sınıfları bakımından anlamlı farklılık bulunmamakla birlikte en düşük YAİ ortalamasının en küçük yaş grubu olan 21-40 yaş aralığında ve en yüksek YAİ ortalamasının da en büyük yaş grubunu oluşturan yaşları 100'den fazla olan meşcerelerde görüldüğü anlaşılmaktadır. Korelasyon analizi sonuçlarına göre YAİ ile meşcere yaşı arasında anlamlı bir ilişki bulunamamış olması da YAİ'nin yaş sınıflarına göre anlamlı değişim göstermemesini açıklar niteliktedir. Sıklık sınıflarının her biri için elde edilen YAİ değerlerinin istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olduğu ve sıklık derecesi arttıkça YAİ değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Bonitet sınıfları bakımından yapılan karşılaştırmada ise V. bonitet sınıfına ilişkin YAİ değerlerinin en düşük ortalamaya sahip olduğu ve diğer bonitet sınıflarından anlamlı farklılık gösterdiği, buna karşın I., II., III. ve IV. bonitet sınıflarına ilişkin YAİ değerleri arasında anlamlı farklılık bulunmadığı görülmektedir.

3.2 YAİ Modellerine İlişkin Bulgular

Aşamalı Regresyon yöntemi yardımıyla, meşcere özelliklerinden yararlanılarak YAİ tahminlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılacak regresyon modelleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Analizler sonucunda başarılı bulunan farklı formlardaki regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir:

D-1: $YAI = b_0 + b_1 \ln SD + b_2 \ln BE$ (3.1)

D-2: $YAI = b_0 + b_1 SD + b_2 \ln BE + b_3 SD^2$ (3.2)

D-3: $\ln YAI = b_0 + b_1 \ln SD + b_2 \ln BE + b_3 SD^2$ (3.3)

D-4: $YAI^2 = b_0 + b_1 \ln SD + b_2 \ln BE$ (3.4)

Çalışma kapsamında, Aşamalı Regresyon yardımıyla bu çalışmaya özgü olarak geliştirilen yukarıdaki dört regresyon modelinin yanında, literatürde sıklıkla tercih edilen denklemler yardımıyla geliştirilen yedi farklı regresyon modeli de değerlendirilmiştir. Böylelikle toplam 11 regresyon modelinin parametreleri hesaplanmış ve tahmin başarıları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu denklemlere ilişkin parametre tahminleri ve istatistiksel ölçütler Tablo 3.4'te verilmiştir. Tablo 3.4 incelendiğinde, yalnızca 1 modelde (DS-1) 0,05 önem düzeyinde anlamsız parametre bulunduğu, diğer 10 modelin ise tüm parametrelerinin anlamlı olduğu görülmektedir. D-1, D-2, D-3 ve DS-3 modellerine ilişkin belirtme katsayısı ($R_{düz}^2$) değerleri yüksek iken, bu değer P-1 modeli için oldukça düşüktür. Tahmin hatalarına ilişkin istatistiksel ölçütlere ait sonuçlar da benzerdir.

Tüm parametreleri anlamlı olan regresyon modellerine ilişkin istatistiksel ölçütler yardımıyla yapılan rölatif sıralamalar Tablo 3.5'te verilmiştir. Tablo 3.5 incelendiğinde, genel sıralama değerlerinde en düşük değerlerin sırası ile D-1, D-2 ve DS-3 için hesaplandığı görülmektedir. Bir başka ifade ile hesaplanan tüm istatistiksel ölçütler dikkate alındığında en başarılı modelin D-1 olduğu anlaşılmaktadır.

İstatistiksel ölçütlere ve bu ölçütlerden yararlanılarak hesaplanan rölatif sıralama değerlerine göre en başarılı olarak belirlenen D-1 modeli kullanılarak yapılan YAİ tahminleri ile ölçülen YAİ değerleri kullanılarak çizilen 1:1 grafiği Şekil 3.11'de verilmiştir. Bunun yanında, D-1 modeline ilişkin hata dağılımı da Şekil 3.12'de görülmektedir.

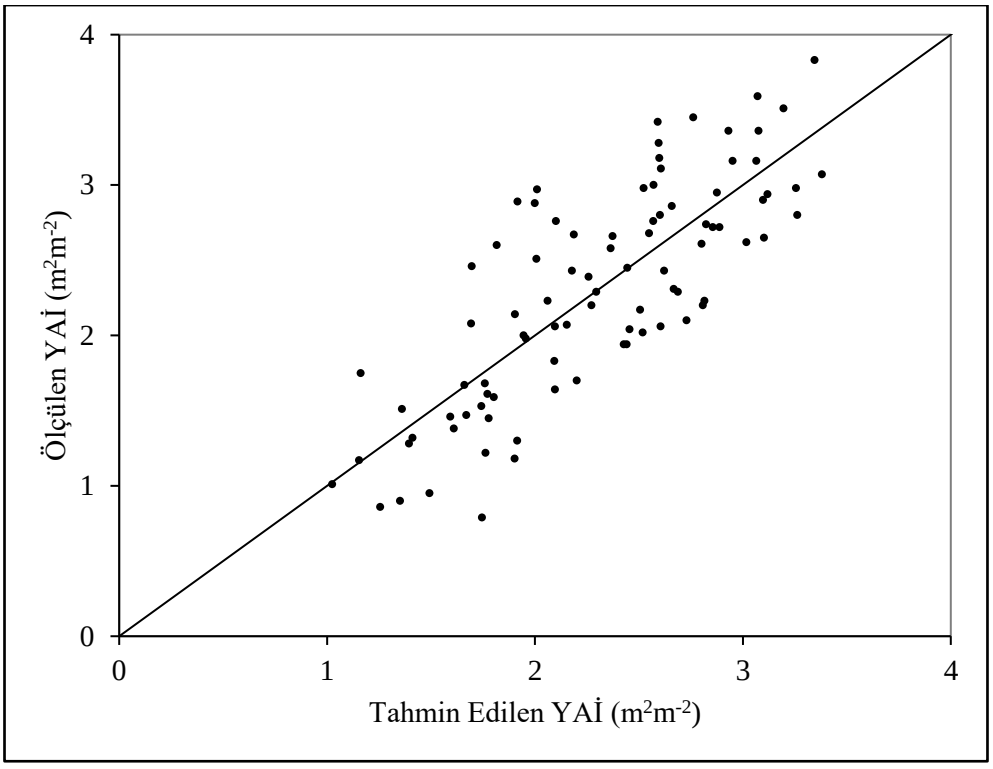
Tablo 3.4 YAİ modellerine ilişkin istatistiksel sonuçlar

Model	$R_{düz}^2$	*OH*	*OMH*	*HKOK*	*AIC*	Parametreler	Tahmin
D-1	0,631	0,00	0,36	0,44	-67,25	b_0	-2,2948***
						b_1	1,3105***
						b_2	0,6188**
D-2	0,630	0,00	0,35	0,44	-65,09	b_0	-1,9037**
						b_1	0,3955***
						b_2	0,6365**
						b_3	-0,0134*
D-3	0,635	-0,05	0,35	0,45	-63,38	b_0	-2,1683***
						b_1	0,9977***
						b_2	0,3587**
						b_3	-0,0027*
D-4	0,596	0,04	0,37	0,45	-65,66	b_0	-13,4404***
						b_1	6,0173***
						b_2	2,2401*
LS-1	0,595	0,00	0,39	0,46	-63,05	b_0	0,6919**
						b_1	0,6525***
						b_2	-0,6511***
LS-2	0,595	0,00	0,39	0,46	-60,59	b_0	0,7051**
						b_1	0,6528***
						b_2	-0,6506***
P-1	0,443	0,00	0,45	0,54	-50,94	b_0	0,1892**
						b_1	0,4379***
P-2	0,536	0,00	0,41	0,49	-59,05	b_0	0,2370***
						b_1	0,5644***
DS-1	0,600	-0,04	0,38	0,47	-61,22	b_0	-0,6531ns
						b_1	0,7589***
						b_2	-0,7249***
DS-2	0,599	-0,04	0,38	0,47	-61,10	b_0	-1,1996***
						b_1	0,7596***
						b_2	-0,4817***
DS-3	0,620	0,00	0,36	0,45	-63,88	b_0	0,0475*
						b_1	0,5859***
						b_2	0,3448**
						b_3	1,6271***

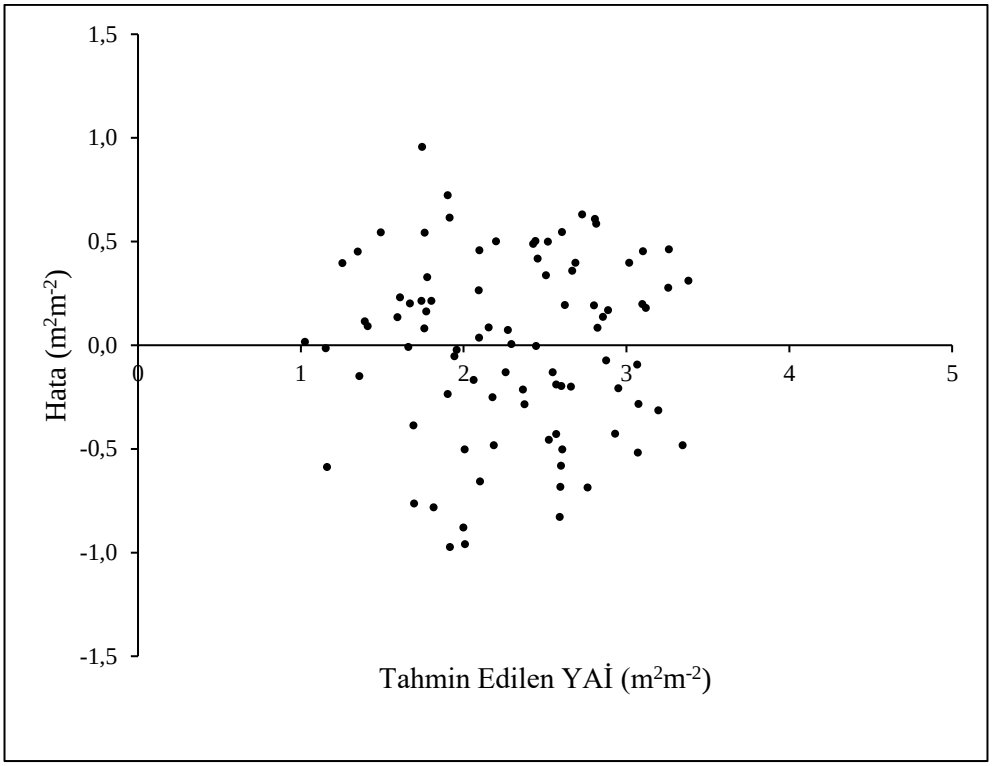
ns: p>0,05, *: p<0,05, **: p<0,01, ***: p< 0,001

Tablo 3.5 YAİ modellerine ilişkin rölatif sıralamalar

Model	$R_{düz}^2$	*OH*	*OMH*	*HKOK*	*AIC*	Toplam	Genel Sıralama
D-1	1,19	1,00	1,90	1,00	1,00	6,09	1,00
D-2	1,23	1,00	1,00	1,00	2,19	6,43	1,09
D-3	1,00	10,00	1,00	1,90	3,14	17,04	3,82
D-4	2,83	8,20	2,80	1,90	1,88	17,61	3,97
LS-1	2,88	1,00	4,60	2,80	3,32	14,59	3,19
LS-2	2,88	1,00	4,60	2,80	4,68	15,95	3,54
P-1	10,00	1,00	10,00	10,00	10,00	41,00	10,00
P-2	5,64	1,00	6,40	5,50	5,48	24,02	5,62
DS-2	2,69	8,20	3,70	3,70	4,39	22,68	5,28
DS-3	1,70	1,00	1,90	1,90	2,86	9,36	1,84



Şekil 3.11 D-1 modeline ilişkin 1:1 grafiği



Şekil 3.12 D-1 modeline ilişkin hata grafiği

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 incelendiğinde, D-1 modeli ile yapılan tahminlerde herhangi bir sistematik hatanın söz konusu olmadığı anlaşılmaktadır. Bir başka ifade ile hatalar rastgele bir dağılım göstermektedir. Model geçerliliğini test edebilmek için ayrılan 30 adet örnek alanın yer aldığı bağımsız veri grubu için D-1 modeli kullanılarak elde edilen YAİ tahminleri ile bu örnek alanlarda ölçülen YAİ değerleri "Eşleştirilmiş t-testi" yardımı ile karşılaştırılmış ve ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde fark olmadığı belirlenmiştir (p=0,976).

Gerek istatistiksel olarak diğer modellerden daha başarılı bulunan ve gerekse rastgele ve kabul edilebilir bir hata dağılımı sergileyen D-1 modelinin kullanılabilir formu aşağıda verilmiştir:

$$YA\dot{I} = -2{,}2948 + 1{,}3105 \ln SD + 0{,}6188 \ln BE$$

YAİ değeri ağaç türlerine göre farklılık gösteren bir meşcere özelliğidir. Yapılan uluslararası çalışmalar incelendiğinde; *Fagus sylvatica* meşcelerinde 3,17-4,18 m^2m^{-2} arasında, *Pinus sylvestris*'te 0,22-1,67 m^2m^{-2} arasında (Bequet vd., 2012), *Picea rubens*'te 7,23–12,52 m^2m^{-2} arasında ve *Abies balsamea*'da 6,54–16,81 m^2m^{-2}

(DeRose ve Seymour, 2010) arasında olduğu belirlenmiştir. Denizli yöresi karaçam meşcerelerinde yapılan bir çalışmada YAİ değerlerinin 0,61-5,57 m^2m^{-2} arasında değiştiği (Özbayram vd., 2015), Çankırı yöresi karaçam meşcerelerinde ise bu değişimin 0,49-2,92 m^2m^{-2} arasında olduğu (Ercanlı vd., 2018) ifade edilmiştir. Bu çalışma kapsamında Kastamonu yöresi için belirlenen YAİ değerleri de 0,79-3,83 m^2m^{-2} arasında değişmekte ve literatürde karaçam türleri için belirlenen YAİ değerleriyle benzerlik göstermektedir.

YAİ ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmalarda özellikle göğüs yüzeyi, sıklık ve ağaç sayısı ile YAİ arasında pozitif yönlü ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Jack ve Long (1991) tarafından *Pinus contorta* meşcerelerinde yapılan çalışmada YAİ değeri ile ağaç sayısı ve sıklık arasında pozitif yönlü üssel ilişki bulunduğu ve YAİ değerinin sıklık ile göstermiş olduğu ilişkinin ağaç sayısıyla göstermiş olduğu ilişkiden daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. DeRose (2004) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nin Maine eyaletinde aynı yaşlı *Abies balsamea* ve *Picea rubens* ormanlarında YAİ değeri ile sıklık arasında güçlü ilişkilerin varlığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde Özbayram vd. (2015) tarafından Denizli yöresi kızılçam ve karaçam meşcerelerinde YAİ ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırıldığı çalışmada, kızılçam meşcerelerinde göğüs yüzeyi ile YAİ değeri arasında pozitif üssel ilişkiler belirlenirken karaçam meşcerelerinde YAİ ile göğüs yüzeyi arasında benzer ilişki tespit edilememiş olup bu durumun örnek alan sayısının yetersiz olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. İlgili çalışmada karaçam meşcerelerinin YAİ değerleri ile meşcere yaşı ve orta çap değerleri arasında negatif yönlü bir korelasyon saptanmış olmasına karşın, tarafımızdan yapılan bu çalışmada meşcere yaşı ile anlamlı ilişki bulunamamış ve orta çap ile de pozitif yönlü zayıf bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Ercanlı vd. (2018) tarafından Çankırı yöresi karaçam meşcerelerinde YAİ değeri ile meşcere özellikleri arasında ilişkilerin incelendiği çalışmada ise göğüs yüzeyi, sıklık ve ağaç sayısı ile YAİ değeri arasında pozitif anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. YAİ değeri ile göğüs yüzeyi, sıklık ve ağaç sayısı arasında pozitif yönlü ilişkilerin bulunduğu çalışmamız sonuçları doğrultusunda, meşceredeki ağaç sayısındaki artışın

meşcerede daha fazla tepe kapalılığı oluşturması ve ağaçlarda meydan gelen artımla birlikte tepenin sahip olduğu yaprak miktarının artması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, bonitet endeksi ile YAİ değeri arasında pozitif yönlü ilişkilerin olduğunu belirten çalışmalar da bulunmaktadır (DeRose, 2004; Özbayram vd., 2015; Ercanlı vd., 2018).

Innes vd. (2005) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir çalışmada YAİ değeri meşcere sıklığının ve bonitet endeksinin bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. DeRose ve Seymour (2010), Amerika Birleşik Devletleri'nde YAİ değeri ile bonitet endeksi arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu belirlemişler ve meşcere üst boyu ile YAİ arasında da pozitif yönlü üssel bir ilişki olduğunu ifade ederek YAİ'nin tahmini amacıyla sıklık, bonitet endeksi ve üst boyun fonksiyonu olan doğrusal olmayan bir denklem geliştirmişlerdir. Ülkemizde ise Özbayram vd. (2015) tarafından kızılçam meşcerelerinde YAİ değeri ile üst boy arasında üssel ilişkiler olduğu ifade edilmiştir. Ercanlı vd. (2018) tarafından karaçam meşcerelerinde YAİ değeri ile bonitet endeksi arasında anlamlı ilişkiler tespit edilmemesine rağmen geliştirdikleri doğrusal regresyon denkleminde bonitet endeksinin parametresini anlamlı bulmuşlardır. Tarafımızdan yapılan bu çalışmada da YAİ değeri ile sıklık derecesi ve bonitet endeksi arasındaki anlamlı ilişkilere dayalı olarak bu değişkenleri içeren bir regresyon modeli geliştirilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kastamonu yöresi saf, verimli ve eşit yaşlı Karaçam meşcerelerine ilişkin YAİ değerleri dolaylı yöntemler içerisinde başarıyla kullanılan LAI-2200C PCA cihazıyla ölçülmüştür. Bunun yanında, ölçülen YAİ değerleri ile meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve YAİ tahminlerinde kullanılmak üzere regresyon modelleri geliştirilmiştir. Meşcere özellikleriyle YAİ arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla korelasyon analizi yapılmış ve en güçlü ilişkinin sıklık derecesi ile (r=0,687), en zayıf anlamlı ilişkinin ise orta çap (r=0,185) ile olduğu belirlenmiştir.

Meşcere özellikleri kullanılarak YAİ değerini tahmin etmek amacıyla doğrusal ve doğrusal olmayan formda 11 adet regresyon denklemi geliştirilmiştir. Denklemlerin başarılarının ortaya konulması amacıyla beş farklı istatistiksel ölçütten ($R_{düz}^2$, *OH*, *OMH*, *HKOK* ve *AIC*) yararlanılmıştır. En başarılı modelin seçilmesi amacıyla da rölatif sıralama yönteminden faydalanılmıştır. Geliştirilen modeller arasında doğrusal olan D-1 ve D-2 modelleri ile doğrusal olmayan DS-3 modelinin en başarılı modeller olduğu belirlenmiştir. Yapılan rölatif sıralamada ise en başarılı modelin D-1 modeli olduğuna karar verilmiştir.

En başarılı bulunan D-1 modeli kullanılarak kontrol veri grubundaki 30 adet örnek alan için YAİ tahminleri yapılmış, tahmin ve ölçülen YAİ değerleri eşleştirilmiş t-testi yardımı ile karşılaştırılmıştır. Yapılan test sonucunda, tahmin edilen ve ölçülen YAİ değerleri 0,05 önem düzeyinde farksız bulunmuştur. Bir başka ifade ile geliştirilen YAİ modelinin çalışma alanı içerisinde güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir.

YAİ; meşcere tepe çatısında meydana gelen transpirasyon, fotosentez ve solunum olaylarında kilit rol oynamaktadır (Sidabras ve Augustaitis, 2015). Özellikle yaşanan iklimsel değişiklikleri anlamada YAİ'nin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır (Mason vd., 2012). Meşcere içerisindeki doğa olayları (don, kuraklık, fırtına gibi) YAİ değerini değiştirmektedir. Meşcerenin özellikleri yaprak miktarını etkilemekte ve YAİ değerinin değişmesine sebep olmaktadır. Yetişme ortamı verim gücünün yüksek olduğu ortamlarda yaprak miktarına bağlı olarak YAİ değeri de yüksek olmaktadır.

Bir başka ifade ile yetişme ortamı kötüleştikçe YAİ azalmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar da bu bilgiyi doğrular niteliktedir.

YAİ'nin belirlenmesinde doğrudan ve dolaylı olarak temelde iki ana yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada dolaylı yöntem tercih edilmiş ve LAI-2200C PCA cihazı ile YAİ değeri tespit edilmiştir. Gerek karaçam ağaç türünün farklı yayılış alanları ve gerekse diğer asli orman ağacı türlerimiz için YAİ konusunda yapılacak araştırmalar büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, konuya ilişkin olarak yapılacak diğer araştırmalar için altlık olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Arslan, I.E., Aslan, S. & Topal, M. (2007). Biyokütle Yetiştiriciliği. *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi Bildiri Kitabı*, 479-484, İstanbul.

Ateşoğlu, A. (2009). Farklı Uydu Görüntüntü Verileri ile Meşcere Parametreleri Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Bartın.

Barclay, H. J., & Trofymow, J. A. (2000). Relationship of readings from the Li-Cor canopy analyser to total one-sided leaf area index and stand structure in immature Douglas-fir. *Agricultural and Forest, 132* (2/3), 121-126. doi:10.1016/s0378-1127(99)00222-4.

Bequet, R., Kint, V., Campioli, M., Vansteenkiste, D., Muys, B., & Ceulemans, R. (2012). Influence of stand, site and meteorological variables on the maximum leaf area index of beech, oak and Scots pine. *European Journal of Forest Research, 131,* 283-295. doi:10.1007/s10342-011-0500-x.

Bonan, G. B. (1993). Importance of leaf area index and forest type when estimating photosynthesis in Boreal forest. *Remote Sensing of Environment, 43,* 303-314.

Bréda, N. J. J. (2003). Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany, 54,* 2403-2417. doi: 10.1093/jxb/erg263.

Burton, A. J., Pregitzer, K. S., & Reed, D. D. (1991). Leaf area and foliar biomass relationships in northern hardwood forests located along an 800 km acid deposition gradient. *Forest Science, 37*(4), 1041-1059.

Carus, S., & Çatal , Y. (2005). Yaprak yüzeyinin karaçam (*Pinus nigra* Arnold.) ve Toros sediri (*Cedrus libani* A.Rich.) fidanlarında dip çap ve boy artımı üzerindeki etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A*(2), 52-61.

Chason, J. W., Baldocchi, D. D., & Hutson, M. A. (1991). A comparison of direct and indirect methods for estimating forest leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology, 57,* 107-128. doi:10.1016/0168-1923(91)90081.

Chaturvedi, R. K., Singh, S., Singh, H., & Raghubanshi, A. S. (2017). Assessment of allometric models for leaf area index estimation of *Tectona grandis*. *Society for Tropical Plant Research, 4*(2), 274-285. doi:0.22271/tpr.2017.v4.i2.037.

Chen, J. M., & Black, T. A. (1992). Defining leaf-area index for non-flat leaves. *Plant, Cell & Environment, 15*, 421-429.

Chen, J. M., Rich, P. M., Gower, S. T., Norman, J. M., & Plummer, S. (1997). Leaf area index of boreal forests: theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research, 102*(24), 29429-29443.

Coker, G. W. (2006). Leaf area index in closed canopies: an indicator of site quality. Master of Science thesis, *University of Canterbury School of Forestry*. Canterbury.

Comeau, P. G., Gendron, F., & Letchford, T. (1998). A comparison of several methods for estimating light under a paper birch mixedwood stand. *Canadian Journal of Forest Research, 28*, 1843-1850.

Curtis, R. O., Clendenan,, G. W., & Demars, D. J. (1981). A new stand simulator for Coast Douglas-fir: DFSIM Users Guide: USA: Forest Service Technical Report.

Cutini, A., Matteucci, G., & Mugnozza, G. S. (1998). Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management, 105*, 55-65.

Çepel, N. (1978). *Orman Ekolojisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Dantec, V. L., Dufrene, E., & Saugier, B. (2000). Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *Forest Ecology and Management, 134*, 71-81.

Davi, H., Baret, F., Huc, R., & Dufrêne, E. (2008). Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests. *Forest Ecology and Management, 256*, 890-899. doi:10.1016/j.foreco.2008.05.047.

DeRose, R. J., & Seymour, R. S. (2009). The effect site quality on growth efficiency of upper crown class *Picea rubens* and *Abies balsamea* in Maine, USA. *Canadian Journal of Research*, 777-784.

DeRose, R. J. (2004). Leaf area index - relative density relationships in even-aged *Abies balsamea - Picea rubens* stands in Maine. Master of Science thesis, *University of Maine Graduate School*. Maine.

DeRose, R. J., & Seymour, R. S. (2010). Patterns of leaf area index during stand development in even-aged balsam fir - red spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research, 40*, 629-637. doi:10.1139/X10-018.

DeRose, R. J., & Seymour, R. S. (2012). Leaf area and structural changes after thinning in even-aged *Picea rubens* and *Abies balsamea* stands in Maine, USA. *International Journal of Forestry Research, 12,* 1-9. doi: 10.1155/2012/181057.

Dufrêne, E., & Brêda, N. (1995). Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia, 104*, 156-162.

Ercanlı, İ., Günlü, A., Şenyurt, M., & Keleş, S. (2018). Artificial neural network models predicting the leaf area index: a case study in pure even-aged Crimean pine forests from Turkey. *Forest Ecosystems, 5(29),* 2-12. doi:10.1186/s40663-018-0149-8.

Fassnacht, K. S., Gower, S. T., Norman, J. M., & McMurtrie, R. E. (1994). A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology, 71*, 183-207. doi:10.1016/0168-1923(94)90107.

Fidan, C., Duran, C., & Kırış, R. (2008). Bitki formasyonlarının su kaynakları üzerindeki etkisi. *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 39-47, Ankara.

Frazer, G. W., Trofymow, J. A., & Lertzman, K. P. (2000). Canopy openness and leaf area in chronosequences of coastal temperate rainforests. *Canadian Journal of Forest Research, 30*, 239-256.

Gholz, H. L. (1982). Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of The Pacific Northwest. *Ecology, 63*(2), 469-481.

Gonsamo, A., & Pellikka, P. K. E. (2009). The computation of foliage clumping index using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology, 149*, 1781-1787.

Goude, M., Nilsson, U., & Holmström, E. (2019). Comparing direct and indirect leaf area measurements for Scots pine and Norway spruce plantations in Sweden. *European Journal of Forest Research, 138*, 1033-1047. doi:10.1007/s10342-019-01221-2.

Gower, S. T., Kucharik, C. J., & Norman, J. M. (1999). Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment, 70*, 29-51.

Gower, S. T., Vogt, K. A., & Grier, C. C. (1992). Carbon dynamics of Rocky Mountain Douglas-fir: influence of water and nutrient availability. *Ecologıcal Monographs, 62* (1), 43-65. doi:10.2307/2937170.

Grier, C. C., & Running, S. W. (1977). Leaf area of mature northwestern coniferous forests: relation to water balance. *Ecology, 58,* 893-899.

Innes, J. C., Ducey, M. J., Gove, J. H., Leak, W. B., & Barrett, J. P. (2005). Size–density metrics, leaf area, and productivity in eastern white pine. *Canadian Journal of Forest Research, 35*, 2469-2479.

Ishihara, M. I., & Hiura, T. (2011). Modeling leaf area index from litter collection and tree data in a deciduous broadleaf forest. *Agricultural and Forest Meteorology, 151*, 1016-1022.

Jack, S. B., & Long, J. N. (1991). Response of leaf area index to density for two contrasting tree species. *Canadian Journal of Forest Research, 21*, 1760-1764.

Jagodziński, A. M., & Kałucka, I. (2008). Age-related changes in leaf area index of young Scots pine stands. *Dendrobiology, 59,* 57-65.

Jelaska, S. D. (2004). Analysis of canopy closure in the dinaric silver fir - beech forests (omphalodo-fagetum) in croatia using hemispherical photography. *Hacquetia, 3*(2), 43-49.

Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., & Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology, 121*, 19-35.

Jonckheere, I., Muys, B., & Coppin, P. (2005). Allometry and evaluation of in situ optical LAI determination in Scots pine: a case study in Belgium. *Tree Physiology, 25*, 723-732.

Jones, D. A., O'Hara, K. L., Battles, J. J., & Gersonde, R. F. (2015). Leaf area prediction using three alternative sampling methods for seven Sierra nevada conifer species. *Forests, 6,* 2631-2654. doi:10.3390/f6082631.

Jose, S., & Gillespie, A. R. (1997). Leaf area-productivity relationships among mixed-species hardwood forest communities of the central hardwood region. *Society of American Foresters, 43*(1), 56-64.

Kalıpsız, A. (1963). *Türkiye'de (Pinus nigra Arnold) meşcerelerinin tabii bünyesi ve verim kudreti üzerine araştırmalar*. Ankara : O.G.M.

Kalıpsız, A. (1988). *Orman Hasılat Bilgisi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Kara, Ö., Şentürk, M., Bolat, İ., & Çakıroğlu, K. (2011). Kayın, göknar ve göknar-kayın meşcerelerinde yaprak alan indeksi ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University, 61*(1), 47-54.

Kashian, D. M., Turner, M. G., & Romme, W. H. (2005). Variability in leaf area and stemwood increment along a 300-year lodgepole pine chronosequence. *Ecosystems, 8*, 48-61. doi: 10.1007/s10021-004-0067-1.

Kenefic, L. S. (2000). Leaf area, stemwood volume growth, and stand structure in a mixed-species, multi-aged northern conifer forest. Doctor of Science thesis, *University of Maine Graduate School*. Maine.

Khosravi, S., Namiranian, M., Ghazanfari, H., & Shirvani, A. (2012). Estimation of leaf area index and assessment of its allometric equations in oak forests: Northern Zagros, Iran. *Journal of Forest Science, 58*(3), 116-122.

Kollenberg, C. L., & O'Hara, K. L. (1999). Leaf area and tree increment dynamics of even-aged and multiaged lodgepole pine stands in Montana. *Canadian Journal of Forest Research, 29*, 687-695.

Küßner, R., & Mosandl, R. (2000). Comparison of direct and indirect estimation of leaf area index in mature Norway spruce stands of eastern Germany. *Canadian Journal of Forest Research, 30*, 440-447.

Lang, A. R., & Xiang, Y. (1986). Estimation of leaf area index from transmission of direct sunlight in discontinuous canopies. *Agricultural and Forest Meterology, 37*, 229-243.

Liu, Z., Wang, C., Chen, J. M., Wang, X., & Jin, G. (2015). Empirical models for tracing seasonal changes in leaf area index in deciduous broadleaf forests by digital hemispherical photography. *Forest Ecology and Management, 351*, 67-77. doi: 10.1016/j.foreco.2015.05.005.

Long, J. N., & Smith, F. W. (1988). Leaf area sapwood relations of lodgepole pine as influenced by stand density and site index. *Canadian Journal of Forest Research, 18*, 247-250.

Long, J. N., & Smith, F. W. (1992). Volume increment in *Pinus contorta* var. *latifolia*: the influence of stand development and crown dynamics. *Forest Ecology and Management, 53*, 53-64.

Macfarlane, C., Hoffman, M., Eamus, D., Kerp, N., Higginson, S., Mcmurtrie, R., & Adams, M. (2007). Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology, 143* (3-4), 176-188.

Masona, E. G., Diepstraten, M., Pinjuv, G. L., & Lasserre, J. P. (2012). Comparison of direct and indirect leaf area index measurements of *Pinus radiata* D. Don. *Agricultural and Forest Meteorology, 166-167*, 113-119.

McLeod, S. D., & Running, S. W. (1988). Comparing site quality indices and productivity in ponderosa pine stands of Western Montana. *Canadian Journal of Forest Research, 18*, 346-352.

OGM. (2013). *Orman Atlası*. Ankara: OGM Yayını.

OGM. (2019). Ormancılık İstatistikleri 2019. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Yayınları.

Oktan, E. (2019). Toros göknarı (*Abies cilicica* Car.)'nda yaprak alan indeksinin belirlenmesi: Adana Kozan yöresi örneği. *Artvin Coruh University Journal of Forestry Faculty*, *20*(2), 218-223.

Omer, G., Mutanga, O., Abdel-Rahman, E. M., & Adam, E. (2016). Empirical prediction of leaf area index (LAI) of endangered tree species in intact and fragmented indigenous forests ecosystems using worldview-2 data and two robust machine learning algorithms. *Remote Sensing, 8*, 324-350.

Öner, N., & Çakır, M. (2006). Yaprak alanının Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* subsp. *nigra* var. *caramanica*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) fidanlarında bitki çap, boy, hacim ve ağırlık artımı üzerine etkileri. *Gazi Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 6*(2), 167-178.

Özbayram, A. K. (2014). Düzce Yöresindeki Doğu kayını (*Fagus orientalis* Lipsky) Meşcerelerinde Aralama Şiddetinin Büyümeye Etkisi. Doktora Tezi. *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Ensitüsü.* Düzce.

Özbayram, A. K., Çiçek, E., & Yılmaz, F. (2015). Kızılçam ve karaçam meşcerelerinde yaprak alanı indeksi (YAİ) ile bazı meşcere özellikleri arasındaki ilişkiler. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15*(1), 78-85.

Pace, M. D. (2003). Effect of stand density on behavior of leaf area prediction models for eastern white pine (*Pinus strobus* L.) in Maine. Master of Science thesis, *University of Maine Graduate School.* Maine.

Penner, M., & Deblonde, G. (1996). The relationship between leaf area and basal area growth in jack and red pine trees. *The Forestry Chronicle, 72*(2), 170-175.

Pokorný, R., & Stojnič, S. (2012). Leaf area index of Norway spruce stands in relation to age and defoliation. *Beskydy, 5*(2), 173-180.

Poudel, K. P., & Cao, Q. V. (2013). Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science, 59*(2), 243-252.

Pueschel, P., Buddenbaum, H., & Hill, J. (2012). An efficient approach to standardizing the processing of hemispherical images for the estimation of forest structural attributes. *Agricultural and Forest Meteorology, 160*, 1-13.

Ryu, Y., Nilson, T., Kobayashi, H., Sonnentag, O., Law, B. E., & Baldocchi, D. D. (2010). On the correct estimation of effective leaf area index: Dose it reveal information on clumping effects. *Agricultural and Forest Meteorology, 150*(3), 463-472.

Sakıcı, O. E., Seki, M., & Sağlam, F. (2018a). Above-ground biomass and carbon stock equations for Crimean pine stands in Kastamonu region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin, 27*, 7079-7089.

Sakıcı, O. E., Sağlam, F., & Seki, M. (2018b). Estimation of crown dimensions for Crimean pine in the Kastamonu region of Turkey. *II International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress*, 176-183, Azerbeycan.

Selin, L. (2019). Modeling of effective leaf area index. Master Thesis, *Swedish University of Agricultural Sciences Department*. İsveç.

Shoemaker, D. A., & Cropper, W. P. (2008). Prediction of leaf area index for southern pine plantations from satellite imagery using regression and artificial neural networks. *Southern Forestry and Natural Resources GIS Conference*, 139–160, Athens.

Sidabras, N., & Augustaitis, A. (2015). Application perspectives of the leaf area index (Lai) estimated by the hemiview system in forestry. *Proceedings of the Latvia University of Agriculture, 33*(328), 26-34. doi:10.1515/plua-2015-0004.

Smith, F. W., Sampson, A. D., & Long, N. J. (1991). Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception. *Forest Science, 37*, 1682-1688.

Stancioiu, P. T., & O'Hara, K. L. (2006). Leaf area and growth efficiency of regeneration in mixed species, multiaged forests of the romanian carpathians. *Forest Ecology and Management, 222*, 55-66.

Stenberg, P., Linder, S., Smolander, H., & Flower-Ellis, J. (1994). Performance of the LAI-2000 Plant Canopy Analyzer in estimating leaf area index of some Scots pine stands. *Tree Physiology, 14*, 981-995.

Topaçoğlu, O., & Göztaşı, S. M. (2019). Sarıçam tohum bahçesinde yaprak alan indeksi (YAİ) ile göğüs çapı, kozalak verimi ve kalıtsallık ilişkisinin belirlenmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21*(1), 215-220.

Turner, D. P., Acker, S. A., Means, J. E., & Garman, S. L. (2000). Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management*, 126, 61-76.

Van Gardingen, P. R., Jackson, G. E., Hernandez-Daumas, S., Russell, G., & Sharp, L. (1999). Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology, 94*, 243-257.

Verger, A., Baret, F., & Weiss, M. (2008). Performances of neural networks for deriving lai estimates from existing cyclopes and modis products. *Remote Sens Environ, 112*, 2789-2803.

Vose, J. M., & Allen, H. L. (1988). Leaf area, stemwood growth, and nutrition relationships in loblolly pine. *Forest Science, 34*, 547-563.

Wang, T., Zhiqiang, X. Z., & Liu, Z. (2017). Performance evaluation of machine learning methods for leaf area index retrieval from time-series modis reflectance data. *Sensors*, 17, 81-96.

Waring, R. H. (1983). Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf-area. *Advances in Ecological Research, 13*, 327-354.

Watson, D. J. (1947). Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany, 11*, 41-76.

Welles, J. M. (1990). Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sensing Reviews, 5*, 31-43.

Welles, J. M., & Cohen, S. (1996). Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany, 47*(302), 1335-1342.

White, J. D., & Scott, N. A. (2006). Specific leaf area and nitrogen distribution in New Zealand forests: Species independently respond to intercepted light. *Forest Ecology and Management, 226*, 319-329.

Whitehead, D. (1978). The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots pine. *Forestry, 51*(2), 137-149.

Whitehead, D., Edwards, W. R.N., & Jarvis, P. G. (1984). Conducting sapwood area foliage area, and permeability in mature trees of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. *Canadian Journal of Forest Research, 14*, 940-947.

Yılmaz, H., Kutbay, H. G., & Sürmen, B. (2019). The leaf traits of a mediterranian species (*Arbutus unedo* l.) in an undisturbed and planted forests in euxine region. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences, 2*(2), 67-72.

Zhao, D., Lv, M., Wang, P., Yang, T., & An, S. (2014). Can the plant area index of a submerged vegetation canopy be estimated using digital hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology, 192-193*, 69-77.

Zheng, G., & Moskal, M. (2012). Computational-geometry-based retrieval of effective leaf area index using terrestrial laser scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50*(10), 3958-3969.

Zheng, G., Moskal, M., & Kim, S. (2013). Retrieval of effective leaf area index in heterogenous forests with terrestrial laser scanning. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *51*(2), 777-786.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Batın Mehmet YER
Doğum Yeri ve Yılı : Sivrihisar / 1994
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Fahri Keskin Anadolu Öğretmen Lisesi, 2013
Lisans : Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 2017

Mesleki Deneyim

İş Yeri : İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi, 2019-Devam Ediyor.