

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİLECİK YÖRESİ MEŞE TÜRLERİ İÇİN ÇAP-BOY
MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Burak KOPARAN

**Danışman
Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK**

ISPARTA - 2021



© 2021 [Burak KOPARAN]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Meşeler Hakkında Genel Bilgiler.....	4
1.2. Saçlı Meşe (<i>Quercus cerris</i> Q_C) Hakkında Genel Bilgiler	6
1.3. Sapsız Meşe (<i>Quercus petraea</i> Q_P) Hakkında Genel Bilgiler	9
1.4. Macar Meşesi (<i>Quercus frainetto</i> Q_F) Hakkında Genel Bilgiler	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ	14
3.MATERYAL VE YÖNTEM	27
3.1. Materyal	27
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1. Doğrusal olmayan basit regresyon modelleri.....	32
3.2.2. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş regresyon modelleri.....	33
3.2.3. Karışık etkili modelleme yöntemi (NLME).....	35
3.2.4. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler.....	37
3.3. Model Nisbi Sıralarının Belirlenmesi	38
4. BULGULAR.....	40
4.1. Doğrusal Olmayan Basit Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular	40
4.2. Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular.....	43
4.3. Yöre ve Türe Özgü Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Çap-Boy Modellerinin Oluşturulması	46
4.4. Karışık Etkili Modelle Yöntemine İlişkin Bulgular.....	48
4.5. Geliştirilen Basit ve Genelleştirilmiş Karışık Etkili Modellerin Kalibrasyonu ..	52
4.6. Model Performanslarına İlişkin Değerlendirmeler	54
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	57
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLECİK YÖRESİ MEŞE TÜRLERİ İÇİN ÇAP-BOY MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Burak KOPARAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Bu çalışmada, Bilecek yöresi doğal ve karışık meşe meşcereleri için çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 70 adet örnek alanda toplam 2339 adet ağaçta çap-boy ölçümü yapılmıştır. Ölçümü yapılan veriler, tesadüfi olarak iki gruba ayrılmıştır. Gruplardan biri model geliştirmek, diğer grup ise geliştirilen modellerin test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Doğal karışık meşe meşcereleri için öncelikle en uygun temel çap-boy modelinin belirlenmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan bazı çap-boy modelleri test edilmiştir ve en uygun çap-boy modeli olarak Gompertz modeli bulunmuştur. İkinci aşamada bazı genelleştirilmiş çap-boy modelleri test edilmiştir. Üçüncü aşamada ise en başarılı basit çap-boy modeli ve bazı meşcere değişkenleri (göğüs yüzeyi, hektardaki ağaç sayısı, meşcere orta çapı, dominant çap ve dominant boy) kullanılarak yöre için genelleştirilmiş çap-boy modeli geliştirilmiştir. Son aşamada ise, bu model ve karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak çap-boy modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller, her örnek alanda farklı sayıda örnek ağaç kullanılarak kalibre edilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen modelin Bilecek Yöresi doğal ve karışık meşe meşcerelerinde güvenilir boy tahminleri için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çap, Boy, Gompertz modeli, Kalibrasyon, Tesadüfi etkili parametre

2021, 73 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DEVELOPMENT OF HEIGHT-DIAMETER MODELS FOR OAK SPECIES IN BİLECİK REGION

Burak KOPARAN

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Forest Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

In this study, height-diameter models were developed for the natural and mixed oak stands of the Bilecik region. For this purpose, diameter and height measurements were made on 2339 trees in 70 sample areas. The data were divided randomly into two groups. One of the groups was used to develop a model and the other group was used to test the models developed. For the natural mixed oak stands, firstly, some well-known and commonly used height-diameter models were tested in order to determine the most suitable base height-diameter model and the Gompertz model was found as the most suitable height-diameter model. In the second stage, some generalized height-diameter models were tested for same dataset. In the third stage, a generalized height-diameter model for the region was developed by testing the most successful simple height-diameter model and some stand variables (number of trees per hectare, basal area, stand mean diameter, dominant diameter and dominant height). In the last stage, the height-diameter model was developed using the mixed effect modeling approach. The developed model was calibrated using a different number of sample trees in each sample plot. As a result of the study, it was concluded that the developed model can be used for reliable height estimations in natural and mixed oak stands in the Bilecik region.

Key Words: Diameter, Height, Gompertz model, Calibration, Random effect parameter

2021, 73 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin y¼r¼t¼lmesinde desteğini ve emeğini hiğbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimleri ile yol g¼steren tez danıŐmanım sayın Prof. Dr. Ramazan ¼ZCELİK'e teŐekk¼rlerimi sunarım.

Çalışma s¼resince bana bilgi ve tecr¼beleri ile desteklerinden dolayı sayın Dr. Onur ALKAN'a teŐekk¼rlerimi sunarım.

Tezimin b¼ro çalışmalarında desteğinden ¼t¼r¼ Pınar KOLAY'a, arazi çalışmalarında desteklerinden ¼t¼r¼ sayın Emine YİğİT'e, Őerife KALKANLI'ya, Samet ATİK'e ve kardeŐlerim İ. Bahadır KOPARAN ile A. Fatih KOPARAN'a ayrı ayrı teŐekk¼r ederim.

Tezimin her aşamasında desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, sonsuz saygı ve Ő¼kranlarımı sunarım.

Burak KOPARAN
ISPARTA, 2021

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye'deki meşelerin doğal yayılış haritası	5
Şekil 1.2. Saçlı meşenin dünyada ve ülkemizde yayılışı	8
Şekil 1.3. Sapsız meşenin dünyada ve ülkemizde yayılışı	10
Şekil 1.4. Macar meşesinin dünyada ve ülkemizde yayılışı.....	12
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki meşe türlerine ve ölçümlere ilişkin görseller	27
Şekil 3.2. Çalışma alanları ve türlerin yayılış haritaları.....	28
Şekil 3.3. Örnek alanlarda yapılan ağaç ölçümleri ve ölçüm cihazları görselleri...	29
Şekil 3.4. Model geliştirmek(a), test etmek(b) ve tüm veri setine(c) ilişkin çap-boy ilişkileri	31
Şekil 4.1. Doğrusal olmayan basit modellerin radar grafiği	42
Şekil 4.2. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş modellerin radar grafiği	46
Şekil 4.3. Basit, genelleştirilmiş ve karışık etkili modeller ile elde edilen hata değerlerinin tahmin edilen boy değerlerine göre dağılımı.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Çap-boy modeli geliştirmek için türlerin nitelendirici istatistikleri...	30
Çizelge 3.2. Çap-boy modeli geliştirmek için veri gruplarının nitelendirici değerleri.....	30
Çizelge 3.3. Çap-boy modeli geliştirmek için kullanılan doğrusal olmayan basit regresyon modelleri.....	33
Çizelge 3.4. Doğrusal olmayan geliştirilmiş regresyon modelleri	34
Çizelge 3.5. Model performansları değerlendirme kriterleri.....	38
Çizelge 4.1. Doğrusal olmayan basit modellere ilişkin parametre tahminleri....	40
Çizelge 4.2. Doğrusal olmayan basit modellerin performans değerleri	41
Çizelge 4.3. Doğrusal olmayan basit modeller için nisbi sıralama.....	41
Çizelge 4.4. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modellere ilişkin parametre tahminleri.....	43
Çizelge 4.5. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modellerin performans değerleri...	44
Çizelge 4.6. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modeller için nisbi sıralama...	45
Çizelge 4.7. Gompertz modeline meşçere değişkenleri eklenerek oluşturulan geliştirilmiş model formu seçimi.....	47
Çizelge 4.8. Doğrusal olmayan geliştirilmiş Gompertz model seçimi.....	47
Çizelge 4.9. D_0 , H_0 ve D_0H_0 eklenmiş modellerin performans değerleri.....	48
Çizelge 4.10. Yöreye özgü geliştirilen modeller için nisbi sıralama.....	48
Çizelge 4.11. Karışık etkili doğrusal olmayan basit Gompertz modeli için parametre kombinasyonları.....	49
Çizelge 4.12. Karışık etkili doğrusal olmayan basit Gompertz modelinin parametre değerleri.....	50
Çizelge 4.13. Karışık etkili doğrusal olmayan geliştirilmiş Gompertz modelinin parametre kombinasyonları.....	50
Çizelge 4.14. Karışık etkili doğrusal olmayan geliştirilmiş Gompertz modelinin parametre değerleri.....	52
Çizelge 4.15. Doğrusal olmayan basit ve geliştirilmiş karışık etkili modellerin kalibrasyon performansları.....	53
Çizelge 5.1. Bilecik yöresi meşe türleri için modellerin performans değerleri....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AIC	Akaike bilgi kriteri
BIC	Bayesian bilgi kriteri
cm	Santimetre
d	Göğüs çapı
d_g	Göğüs yüzeyi orta ağacının çapı
d_{ij}	Ölçülen göğüs çapı değerleri
D_0	Dominant çap
e	Hata
EBLUP	En iyi doğrusal yansız tahminci
FI	Uyum indeksi
h	Ağaç boyu
ha	Hektar
$h - d$	Boy – Çap
h_{ij}	Ölçülen boy değerleri
H_0	Dominant boy
G	Göğüs yüzeyi
\ln	Doğal logaritma
m	Metre
mm	Milimetre
m^2	Metrekare
MAD	Ortalama mutlak fark
MD	Ortalama fark
n	Toplam gözlem sayısı
n_i	i örnek alandaki ölçüm sayısı
N	Meşçeredeki ağaç sayısı
NLME	Doğrusal olmayan karışık etkili model
OBM	Orman Bölge Müdürlüğü
OGM	Orman Genel Müdürlüğü
OİM	Orman İşletme Müdürlüğü
p	Parametre sayısı
Ri	Nisbi sıra
RMSE	Hata kareler ortalamasının karekökü
SD	Standart sapma
S.H	Standart hata
Q_C	Saçlı meşe
Q_F	Macar meşe
Q_P	Sapsız meşe

1. GİRİŞ

Türkiye, ağaç türü çeşitliliği ve meşcere yapısı bakımından çok zengin bir ülke olmasına karşın, ağaç türlerinin farklı meşcere kuruluşlarındaki büyüme ve gelişme özelliklerine ilişkin temel altlıklara sahip değildir. Bu altlıkları günümüzde bazı çalışmalar ile hazırlanmakta ve daha doğru hacim ve biyokütle tahminleri yapılabilmektedir. Bu yapılan gerçeğe yakın tahminler sonucunda orman yönetimi konusunda daha başarılı sonuçlar alınmakta ve sürdürülebilir orman yönetimi anlayışı uygulanmaktadır. Orman varlığımızı arttıran ve optimum fayda ile gerek iç pazara gerekse dış pazara orman ürünleri satışı yapabilen bir ülke konumunda olduğumuzu görmek sevindirici olmakla beraber orman varlığımızın değeri konusunda çap-boy modelleri ile meşcere bazında çıkartılacak orman emvalini en doğru biçimde hesaplanması gerekmektedir.

Bu hususta ülkemiz sahip olduğu iklim özellikleri, toprak tipleri ve ağaç türü çeşitliliği ile özel olarak incelenmesi gereken bir yapıya sahiptir. Ülkemizde bulunan asli orman ağaç türlerimizin idare süresi boyunca yapacağı çap artımı ve bu süresinin sonunda elde edilecek hacim hesabı için ağaç boylarını gerçeğe yakın hesap etmemiz gerekmektedir. Ağaç boyu ölçülmesi zor bir değişkendir. Bu değişken her türümüz için farklı bölgelerde hatta aynı meşcere içerisinde bile değişkenlik gösterebilmektedir. Orman sahip olduğu canlı yapısı sayesinde aynı meşcere içerisinde bile farklı gelişim gösterebilen bir ekosistemdir (Carus, 1997).

Ağaç boyunu ölçmek zor olduğu kadar zaman alıcıda bir iştir. Ağaç boyu orman envanteri çalışmalarında ve amenajman planları yapımında istenilen sürede doğru bilgilere ulaşmak için tahmin edilmesi önemli olan bir değişkendir. Bu değişkeni doğru tahmin etmek ve bunun sonucunda sağlıklı envanter çalışmaları yapmak için çap-boy modellemeleri her yöre ve ağaç türümüz için yapılması gerekmektedir. Bu yapılacak çalışmalara ile ekosistem tabanlı fonksiyonel amenajman planları başarılı bir şekilde yürütülebilir. Ancak ülkemizde, pek çok asli ağaç türümüz ve bu türlerin farklı yetiştirme ortamı ve bölgelerde çap-boy ilişkilerini ortaya çıkartan çalışmalar yetersizdir. Ülkemizde bazı ağaç türlerine ilişkin d-h modelleri geliştirilmiş olmakla birlikte (Sönmez, 2009; Mısır, 2010; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Özçelik vd., 2013;

Ercanlı vd., 2015; Carus ve Akguş, 2018), pek çok ağaç türü için çap-boy ilişkilerini ortaya koyan modeller henüz geliştirilmemiştir.

Çap-boy modellerinde, çap ölçümünde hata yapmak neredeyse imkânsız iken boy ölçümlerinde hatalar yapılabilmektedir. Bu hatalar kullanılan cihaza, hava durumlarına veya ölçen kişinin gözlem hatasına bağlı olabilmektedir. Modelleme yapmak için gerekli olan boy değerleri ile gövde çapı arasında sıkı bir ilişki olduğu birçok çalışma ile kanıtlanmıştır (Castedo-Dorado vd., 2006; Sharma ve Parton, 2007; Ademe vd., 2008; Vargas-Larreta vd., 2009; Özçelik vd., 2013; Gomez-Garcia vd., 2015).

Birçok ülkede saf, karışı, aynı yaşlı, değişik yaşlı ve ağaçlandırma alanları için çok sayıda çap-boy denklemi geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Ancak farklı ağaç türleri tarafından meydana getirilen orman kuruluşları ve meşcere yapıları her yerde homojen olmadığı için çap-boy ilişkilerini açıklamak için tek bir model yeterli olamamaktadır. Bu nedenle çap-boy ilişkilerinde ortaya çıkan değişimi minimize edebilmek için modelleme çalışmalarında her meşcere, ağaç türü veya farklı yöreler için ayrı çap-boy modellerinin geliştirilmesi gerektiği bilinmektedir. Özellikle ülkemiz gibi, asli ve egzotik orman ağaç türü sayısının oldukça fazla olduğu ve ekolojik koşulların çok kısa mesafelerde ve yüksekliklerde büyük değişiklikler gösterdiği yerlerde bu zorunluluk kaçınılmaz bir hal almıştır (Özçelik vd., 2013; Göçer, 2016; Carus ve Akguş, 2018).

Ağaç hacim tahminleri, ağaç ve meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının hesaplanmasında, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde, orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonların yapılmasında ve uygun biyokütle dönüşüm faktörleri yardımı ile biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanmasında kullanılan önemli bir meşcere parametresidir (Dieguez-Aranda vd., 2006; Castedo-Dorado vd., 2012; de-Miguel vd., 2012; Rodríguez vd., 2014). Bu nedenle ülkemizde orman yönetimini için tek ağaç ve meşcere hacimlerinin sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesi için çap-boy modelleri geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilecek çap-boy denklemleri ile ağaç hacim tahminlerinin hem daha kısa sürede hem de daha doğru veriler elde etmemize olanak sağlayacaktır. Bunun sonucunda meşcere hacim tahminleri doğruluk oranları

geçmişe oranla artacak ve daha başarılı planlar yapılabilinecektir (Jayaraman ve Zakrzewski, 2001).

Günümüzde meşçerelerin hacim hesaplamalarının doğruluk oranının önemi, OGM'nin son zamanlarda sıklıkla uyguladığı dikili satış yöntemi ile daha da artmıştır. Bu yöntemde meşçerelerde örnek alanlardan alınan çap ve boy değerleri ile satışa çıkacak alanın tümüne uygulanıp hacim hesabı yapılmaktadır. Yukarıda da değindiğimiz gibi hacim hesaplamalarında yöreden yöreye veya meşçereden meşçereye dahi değişiklikler olduğu için hacim hesaplarında uyumsuzluklar olabilmektedir. Bu hem üretici hem de tüketiciyi zor durumda bırakmakta ve orman ürünlerinin değer kaybı yaşamasına neden olmaktadır. Buna ek olarak bu meşçerelerde karbon miktarı hesaplamalarında da kullanılabilir çap-boy modelleri oluşturulabilmektedir. Bu modeller aracılığıyla yapılan hesaplamalar geçmişte yapılan çalışmalara kıyasla daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Böylelikle odun üretimi ve satışı konusunda değer kaybı en az seviyeye indirilebilmektedir.

Yapılan birçok çalışmada araştırmacılar model geliştirme hususunda tavsiyeler sunmuştur. Lei (1998) model geliştirirken elde edilen veri setinin ilgili ağaç türü için tüm çap ve boy gruplarını temsil etmesi gerektiğini, türe ait biyolojik büyüme ve gelişme özelliklerini yansıtabilen asimptot, monotonik artım ve fonksiyonel katılım noktası değerlerinin olması gerektiğini belirtmiştir. Özellikle Bertalanffy-Richards (1957) ve Schnute (1981) modellerinin farklı biyolojik ve ekolojik durumlarda daha başarılı sonuçlar verdiğini, Schnute (1981) tarafından önerilen modelin ise diğer modellere oranla daha esnek bir yapıya sahip olması nedeniyle daha kolay uygulandığı bildirilmiştir. Model yapısı olarak sigmoid ve konkav biçimli fonksiyonları çap boy modellerini açıklamakta daha başarılı olduğu Huang vd. (1992) tarafından belirtilmiştir.

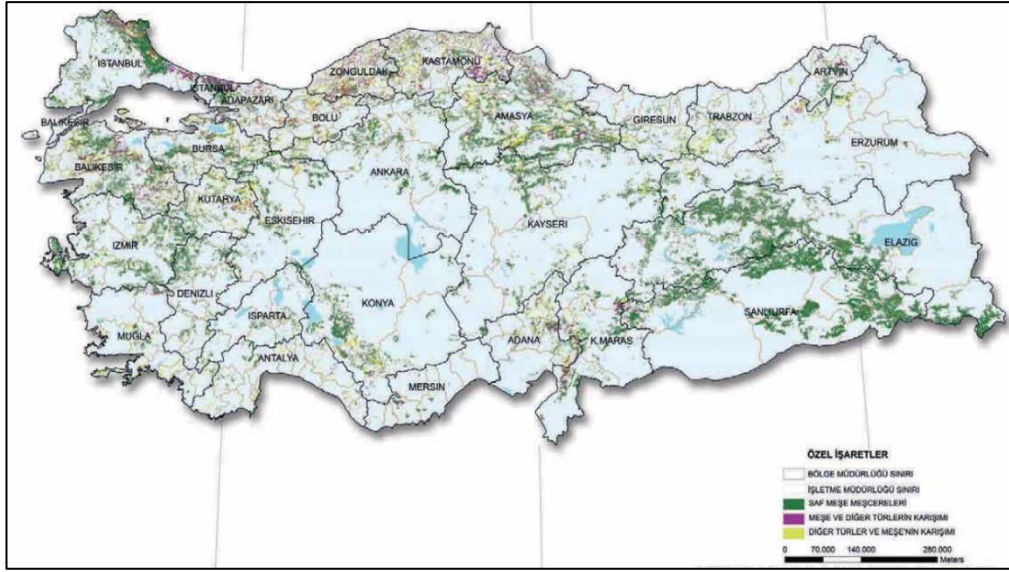
Bu amaçla ülkemizde bulunan Meşe (*Quercus spp*) türlerinden Saçlı meşe (*Quercus cerris* L.-*QC*), Sapsız meşe (*Quercus petraea* Matt.-*QP*) ve Macar meşesi (*Quercus frainetto* Ten.-*QF*) türlerinin bulunduğu Bilecik yöresinde bu üç meşe türüne ait çap-boy modeli çalışması bulunmamaktadır. Geçmiş dönemde kullanılan tek veya çift girişli hacim tabloları ile türe özgü yapılan modellemeler sonucunda çap-boy modellemelerinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar

sonucunda meşçere parametreleri ve iklim verileri bölgeden bölgeye değiştiği için eski yöntemlerin başarı oranı meşçere ve iklim değişkenlerini de hesaplamaya katan çap-boy modellerinden daha düşüktür. Bu nedenle ormancılık çalışmalarında, ülkemizin sahip olduğu tür ve iklim çeşitliliği göz önüne alındığı takdirde meşçere hacim hesaplamaları için türe ve yöreye özgü çap-boy modelleri geliştirmek gerekmektedir.

Bu çalışmada Bilecik yöresi doğal meşe meşçerelerinde karışık halde bulunan Q_C , Q_P ve Q_F türleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla doğrusal olmayan basit regresyon modelleri, doğrusal olmayan genelleştirilmiş regresyon modelleri ve karışık etkili çap-boy modelleri yöntemleri kullanılarak en başarılı çap-boy modeline karar verilmiştir.

1.1. Meşeler Hakkında Genel Bilgiler

Meşeler; taksonomide Fagales takımında Fagaceae familyasına ait olan *Quercus* ismi ile sınıflandırılmaktadır. Dünyada yaklaşık 450 adet meşe türü bulunmaktadır. Bunlar taksonomik olarak Kırmızı meşe, Akmeşe ve Herdem yeşil meşeler olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Nixon, 1997; Tucker, 1980). Ülkemizde bu 3 gruba ait 18 adet meşe türü bulunmaktadır. Bunların 10 tanesi Ak meşe, 5 tanesi Kırmızı meşe ve 3 tanesi de Herdem yeşil meşedir. Tarih boyunca birçok medeniyete ve imparatorluğa ev sahipliği yapan ülkemiz birçok ormancılık kitabında “meşe yurdu” olarak da betimlenmektedir. 2019 yılı itibari ile ülkemizde yaklaşık 6 milyon hektar meşe alanı bulunmaktadır. Ülkemizde hemen hemen her alanda görülmekte olan meşeler tohumdan gelen kuru ve sürgün kökenli baltalık ormanları oluşturabildikleri gibi çoğunlukla karışık meşçerelerde oluşturabilmektedir (Atay, 1982). Bu alanların 2.435.265 ha normal alan, 3.521.262 ha boşluklu alan olarak dağılmaktadır (OGM, 2020). şekil 1.1’de meşelerin ülkemizdeki yayılış haritası verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye’deki meşelerin doğal yayılış haritası (OGM, 2015)

Meşeler önemli düzeyde yapacak ve yakacak odun veren ağaçlardır. Bu özelliklerinin yanı sıra iyi bir hayvan yemi olan pelit olarak adlandırılan meyvesi ve yaprakları, tanence zengin kabuk ve meyve kadehleri, patolojik bir oluşum olan meşe mazıları değerli yan ürünler arasında ilk akla gelenlerdir. Oldukça sağlam olan kökleri derinlere kadar inebilmekte bu nedenle topraktan sökülmedikçe, hayvan otlatmalarına karşı kendini yenileme yeteneğine sahiptir (Yaltırık, 1984). Bu kullanım alanlarına ilaveten dokuma sepetlerinde, cevher dökmek için kömür olarak, gemi yapımında, maden direğinde, demiryolu yapımında, kağıt yapımında, mobilya, panel ve zemin kaplamaları için laminant parkelerde de meşe büyük bir yer teşkil etmektedir. Özellikle 19. yüzyılın ortalarından itibaren meşe Avrupa ve Amerika'da gemi yapımı için tercih edilen ağaç olmuştur. Bu nedenle meşe ormanları kritik ulusal varlıklar olarak değerlendirilmiştir (Thirgood, 1971). Dünyada meşelere kadim ağaç olarak nitelendirilmiştir. Böyle bir bakışa sahip olan Almanya’da Olimpiyatlarda başarılı olan sporculara meşeden yapılmış taç takılmakta ve bir adet meşe tohumu verilmektedir. Bu davranış meşelerin önemini temsil etmek hakkında sadece küçük bir örnek teşkil etmektedir.

Meşeler yayılış yaptığı bölgelerde; kök ve kütük sürgünü verebildikleri için yaş olarak ilerlemiş olsalar dahi hayvan ve otlatma baskısına maruz kalsalar bile yaşamını nesillerce devam ettirebilmektedir. Meşelerin genel yetişme ortamı tanımı, su tutma kapasitesi yüksek olan, ortalama yağışın 350 mm’ den fazla olduğu ve yeterli miktarda kil bulunan topraklar olarak bilinmektedir (Yaltırık, 1984).

Meşeler genel olarak ışık ağacı olarak bilinmektedir bundan ötürü genç bireyler ilk yıllarında don ve kuraklığa hassastır. Ayrıca meşelerin meyvesi olan palamutları özgül ağırlıkları fazla olduğu için rüzgâr ve diğer etmenler çok etkileyebilmektedir. Dolayısıyla tohumdan filizlenen meşeler yaşlı bireylerin altında gölgede büyümek zorunda kalırlar. Yeterli ışıktan faydalanamayan bu genç bireyler yavaş gelişir bunun sonucunda da dar yıllık halkalar meydana getirmektedir (Dündar, 2001).

1.2. Saçlı Meşe (*Quercus cerris* *Qc*) Hakkında Genel Bilgiler

Quercus cerris L. (Saçlı meşe) Güney Avrupa ve Türkiye’de yayılış göstermektedir. Ülkemizde geniş bir yayılış yapması sebebiyle de “Türk meşesi” olarak da bilinmektedir. *Qc* kırmızı meşe grubuna ait kışın yapraklarını döken bir türdür. Geniş tepeler oluşturan bu tür 25-30 m kadar boylanabilmektedir. Geniş yapraklı ormanlar diğer meşe türleri ile karışık ormanlar kurabilmektedir. Deniz seviyesinden 1500-1900 metre yüksekliklere kadar diğer meşelerle birlikte yapraklı ormanlar, Karaçam, Kızılcım ve Fıstık çamı gibi iğne yapraklı türlerle de karışık ormanlar oluşturabilmektedir (Yaltırık, 1984). Yaşlı *Qc* kabukları gri-beyaz renkli, derin çatlaklıdır. Genç sürgünleri açık kahverengi veya kırmızımtırak kahverengi, çok yumuşak sık tüylüdür. Ülkemizde çok geniş bir yayılışı vardır. Orman endüstri sanayinde özellikle suya dayanıklı malzemelerin yapımında ve ölü odunun renkli ve desenli olması nedeniyle de mobilya endüstrisinde az da olsa tercih edilmektedir. *Qc*, yandığında is yapmaması, yandıktan sonra da kaliteli kömür elde edilmesinden ötürü yakacak odun olarak tercih edilen türlerdendir. Genç meşe sürgünleri ve yaprakları, hayvanlar için önemli bir besin kaynağı olarak kullanıldığı hayvancılık yapılan bazı bölgelerde yaprak ve sürgünlerinden de faydalanılmaktadır.

Qc toprak isteği bakımından, çeşitli arazi koşullarına uyum sağlayabilmektedir. Kuraklığa, hava kirliliğine nispeten toleranslıdır ve çok kuru toprağa sahip olmadıkları sürece zayıf asit ve hatta sığ kireçli topraklar da dahil olmak üzere çok çeşitli toprak türlerinde büyüebilmektedir (Majer, 1984). Kök sistemleri kazık kök sistemleri ve derin lateral kök dalları ile kuvvetli rüzgarlara karşı mukavemet gösterebilmektedirler (Tzvetkova ve Kolarov, 1996). *Qc* yaşlı bireylerin altında kaldığında az miktarda ışık alması yeterli olabilmektedir. Yaşlı bireylerden düşen tohumların çimlenme yüzdesi

oldukça yüksek olan Q_C , çimlendikten sonra da hızlı bir şekilde büyüme yeteneğine sahiptir. Gençlik oluşturmak için yalnız tohum ile sınırlı olmayan Q_C , kök ve gövde sürgünü vererek de gençlik oluşturabilir. Sürgünlerin çoğu erken dönemde ölmesi durumunda tekrar tekrar sürgün verebilme özelliği sayesinde yeniden gençlik oluşturmaya devam edebilmektedir (Popović vd., 1997). Q_C deniz seviyesinden 1900 metre yükseltilere kadar iğne ve geniş yapraklı türlerle karışım yapabilir veya saf meşçereler oluşturabilmektedir. Işık ağacı olması nedeniyle ılıman iklimleri, güneşli ve kuru yamaçlarda bulunmaktadırlar. Kuvvetli olmayan soğuklara karşı da dayanıklıdır.

Q_C Güney Avrupa ve Orta Asya'ya özgü bir tür olarak bilinmektedir. Akdeniz havzasının karışık ormanlarında baskın tür olarak bulunan Q_C , kışın yapraklarını döken bir tür olarak bilinmektedir. İyi gelişmiş kök sistemine sahip olan Q_C dayanıklı bir türdür. Tepe formu da geniş yayılış yapmaktadır. Yaprak yapısı bulunduğu bölgeye göre çok fazla değişkenlik göstermektedir. Sığ loplu, tali loplu veya derin loplu yaprak yapılarını değişik boyut ve görünüşte görebilmekteyiz. Bu loplara ucunda sivri dikensi kılçıklar bulunmaktadır. Yaprak sapı 3-20 mm uzunluğundadır. Q_C karakteristik özelliklerinden biri de kahverengi genç sürgünleri sık tüylüdür ve 4 mm uzunluğundaki çok pullu tomurcuklarını 10 mm uzunluğundaki ipliksi kulakçıklar ile çepeçevre sarılmıştır. Palamut iki yıllık bir süre içinde olgunlaşır, ancak meşe palamudu mahsulü bol miktarda bulunur, kolayca çimlenir ve yayılabilir (Praciak, 2013; Price ve Savill, 2013). Şekil 1.2'de Q_C ' nin dünyadaki yayılış haritası verilmiştir.



Şekil 1.2. Saçlı meşenin dünyada ve ülkemizde yayılışı (Euforgen, 2020)

Q_C iyi gelişmiş bir kök sistemi nedeni ile 40 metre boy ve 1.5-2 m kadar çap yapabilen heybetli bir türdür (Di Iorio vd., 2007; Price ve Savill, 2013). Ortalama 120 ile 150 yıl kadar yaşayabilmektedirler (Praciak vd., 2013). Yapraklar koyu yeşil ve altında gri keçeleşmiş yapıya sahiptir. Boyutları ve şekilleri değişkendir, ancak genel olarak 9-12 cm uzunluğunda ve 3-5 cm genişliğindedir ve 7-9 çift üçgen lob içerir (Mitchell vd., 2005). Yapraklar, sonbaharda sarıya dönüşür ve bir sonraki ilkbahara kadar özellikle genç ağaçlarda taçta kalmaktadır (Praciak vd., 2013).

Q_C odunu genel olarak yakacak odun olarak kullanılmaktadır. Odunun kalorisi yaklaşık olarak gürgen ve kayın ile eş değerdir. Odunun sıcaklıkta çatlama ve bu nedenle şekil verme konusundan verimsiz bir odun olması nedeniyle yakacak olarak tercih edildiği anlaşılmaktadır. Diğer yaygın meşe türleri ile karşılaştırıldığında ahşap değeri daha düşüktür (Price ve Savill, 2013). Odunu geçmiş yıllarda ahşap demiryolu traversleri yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Kereste ve tomruk üretiminin büyük bir kısmında kullanılan *Q_C* odunları, yüksek bir ticari değere sahiptir. Üretilen tomrukların maden direği veya tel direk olarak değerlendirildiği bölgeler vardır. *Q_C* diğer bir kullanım alanı olarak, kavisli gövde yapısını sahip olan bireylerde, gemi yapımında tercih edilen bir türdür. Orman endüstri sanayisinde özellikle suya dayanıklı malzemelerin yapımında ve ölü odunun renkli ve desenli olması nedeniyle de mobilya endüstrisinde de tercih edilmektedir. *Q_C* odunu yanarken is yapmaması ve uzun süre yanması nedeniyle fırın odunu ve mangal kömürü olarak da kullanıldığı

bilinmektedir (Şahin, 2014). Diğer bir kullanım alanı olarak Q_C odunlarından fiçî üretimi yapılabilmektedir. Şehir içi yol kenarlarında güzel görüntüsü ve dayanıklı bir tür olması nedeniyle alle ağacı olarak da kullanılmaktadır (Price ve Savill, 2013).

1.3. Sapsız Meşe (*Quercus petraea Q_P*) Hakkında Genel Bilgiler

Q_P Avrupa, Türkiye, İran ve Kafkasya'da doğal olarak yetişen bir tür olarak bilinmektedir. Türkiye'de *Quercus petraea subsp. Patraea*, *Quercus petraea subsp. iberica* Krassilin ve *Quercus petraea subsp.pinnatiloba* Menitsky olmak üzere üç alttürü bulunmaktadır. Yayılış yaptığı alanlar Kuzeybatı Karadeniz, Marmara bölgesi İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesi olarak bilinmektedir. Ak meşe grubunda bulunan Q_P 30 m kadar boylanabilmektedir. Kışın yapraklarını döken bu türün gövde rengi açık kahverengidir. Gövde üzerinde bulunan kabuklar dar ve bir düzen içinde boyuna derin çatlaklar oluşturmaktadır. Tomurcukları tilki sarısı renge sahiptir. Dolgun ve kenarları tırtıklı olan bu tomurcuklar 7mm boyundadır. Toprak isteği bakımından kanaatkâr olan Q_P asidik ve hafif yapılı topraklarda iyi gelişim göstermektedir. Kurak topraklarda yaşamını sürdürürken su baskınları ve sel olaylarına karşı dayanıksızdır. Tohumları olgunlaşma zamanı Ekim-Kasım ayları olarak bilinmektedir. Zengin tohum yılı 3-4 yılda bir gelen Q_P bol tohum yılı ise 15-20 yılda bir olmaktadır (Çalışkan, 2016). Q_P ve macar meşesinde çimlenmiş tohumların -3°C sıcaklıkta hasar aldıkları ve çimlenme özelliklerinin %50 azaldıkları görülmüştür (Dişli, 2016). Q_P ülkemizdeki meşe türleri içerisinde yayılış yaptığı alan olarak en geniş yayılış gösteren türdür. Ülkemizde bulunan 4 farklı iklim bölgesinde de Q_P görülmektedir (Kantarıcı, 1974). Q_P 'nin ülkemizde ve dünyada yaptığı yayılış Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Sapsız meşenin dünyada ve ülkemizde yayılışı (Euforgen, 2020)

Türkiye'nin önemli asli orman ağaçlarından biri olan *Q_P* ülkemizde üç alttürü bulunmaktadır. Bu üç alttür aşağıdaki morfolojik özellikleriyle ayrılabilir (Hedge ve Yaltrık, 1982). *Quercus petraea subsp. petraea* bu alttürde kadeh pullarının dip kısmı yumrulu çıkıntılı değil düzdür, yaprakların alt yüzü tüylü, damar koltuklarında tüy demetleri bulunur. Genel coğrafi yayılışı Avrupa olan bu takson ülkemizde Demirköy, Malkara-Keşan ve Mudurnu'da meşe-kestane ile birlikte karışık ormanlarda yaklaşık 200 m'lerde sınırlı bir yayılış göstermektedir. *Quercus petraea subsp. iberica* (Steven ex Bieb) Krassilin'de ise kadehler neredeyse sapsız veya çok kısa ve kalın bir sap ucunda yer almakta, kadeh pulları yumru gibi çıkıntılı ve yapraklar sığ loplu görülmektedir. Yaprak ayasının her iki yüzü de çıplak vaziyettedir. Genel coğrafi yayılışı olarak da Anadolu, Balkanlar, Kafkaslar ve Kuzey İran olarak bilinmektedir. Ülkemizde Marmara Bölgesi ile tüm Kuzey Anadolu Bölgesinde saf bükler veya ormanlar kurduğu gibi Anadolu kestanesi, Doğu kayını, Adi gürgen, Karaçam ve Doğu ladini ile karışık ormanlar kurar, deniz seviyesinden 1300-1600 m yüksekliğe kadar yayılış yaptığı görülmektedir. *Quercus petraea subsp. pinnatiloba* Menitsky ise yapraklar derin parçalı loplu, alt yüzleri grimsi yeşil renkli ve ince tüylüdür. Normalde boylu ağaçlar olduğu halde özellikle Doğu Anadolu'da yoğun hayvan otlatması nedeniyle boylu çalı görünümünde varlığını sürdürmektedir. Genel coğrafi yayılışı Türkiye, Balkanlar, Kafkasya ve Kuzey İran olup ülkemizde özellikle Maraş, Malatya, Elazığ, Tunceli, Bingöl, Muş, Bitlis, Van, İçel, Adana, Hatay ve Hakkari illerinde,

1200-2200 m yükseklik aralığında Mazı meşesi, Saçlı meşe, Toros sediri ve Karaçam türleri ile karışık ormanlar yaptığı görülmektedir (Yaltırık, 1984; Ürgenç, 1998).

1.4. Macar Meşesi (*Quercus frainetto* Q_F) Hakkında Genel Bilgiler

Q_F 25-30 m'ye kadar boylanabilen, kalın dallı, geniş tepeli bir ağaçtır. Yaşlı gövdelerin rengi açık kahverengi, kabuk ise dar şeritler halinde çatlaklı yapıdadır. Sürgün uçları terminal tomurcukludur. Yan tomurcukları sürgünlerde sarmal dizilmiştir. Sürgün ucuna doğru birkaçı kısa büklümlerle bir araya toplanmıştır. Genç sürgünlerin rengi kahverengidir ve oldukça kalın yapıya sahiptir. Sürgünler tüylü veya çıplak bir biçimde bulunabilir. Lentiseller çok sayıda büyük ve yuvarlaktır; tomurcuklar çok büyük, dolgun, köşeli olup sarımtırak gri renkte, keçe gibi sık tüylerle örtülü halde bulunmaktadır (Şahin, 2014). Kurak bölgelerde yapraklar güneşli ve iyi yağış alan bölgelere oranla küçük kalmış ve gelişimi az olmaktadır. Yaprak ayasının etrafında derin ve dar oyuntulu, düzenli bir biçimde bulunan 6-9 lobu bulunmaktadır. Her bir lopta 1-3 tâli lopcukludur, her iki yüzü de yıldız tüylerle örtülüdür ve bazı zamanlarda üst yüzü çıplaklaşabilmektedir. Q_F karakteristik özelliklerinden biri de yaprak sapı yok denecek kadar kısa olmasıdır. Yaprığın dibinde bulunan iki kulakçık yapraktan çıkan kısa sapı örtmektedir. Olgunlaşması bir yılda olur (Akmeşe grubunun özelliği); kadehler oldukça küçük (15 mm çapında) ve sapsızdır, kadeh pulları boz tüylü, kısa ve birbirinin üstüne gevşek kapanmıştır; palamutlar en fazla 25 mm boyundadır, az tanenli olduğundan tatlıdır (Yaltırık, 1984; Yaltırık ve Efe, 1994). Ilıman iklimlerde yetişen Q_F ışık ağacı olarak bilinmektedir. Bu nedenle meşçerede siper altında kaldığı takdirde varlığını sürdürememektedir. Güneye bakan sıcaklık ortalaması yüksek yamaçlarda iyi gelişim gösterdikleri bilinmektedir. Genel iklim koşulları bakımından sapsız meşeye oranla daha toleranslıdır. Q_F gelişimi için toprak isteği bakımından, besin maddelerinin bol olduğu toprak şarttır. Genel olarak ince yapılı, taşsız, derin ve kireçli topraklarda görülmektedir. Longoz ormanlarının bulunduğu kalkersiz alüvyon topraklarda da nadiren görülmektedir. Şekil 1.4'de Q_F 'nin dünyada ve ülkemizde yaptığı yayılış görülmektedir.



Şekil 1.4. Macar meşesinin dünyada ve ülkemizde yayılışı (Euforgen, 2020)

Q_F Güney İtalya, Güneydoğu Avrupa ve Anadolu'da yayılış gösteren bir türdür. Ana yayılış bölgesi eski Yugoslavya olarak da bilinen Sırbistan, Slovakya, Romanya, Bosna Hersek, Hırvatistan, Slovenya, Makedonya, Sırbistan, Karadağ, Kosova ve Bulgaristan'dır. Q_F Makedonya ve Kuzey Anadolu bölgelerinde yüksek boy ve geniş çap yaptığı bilinmektedir (Saatçioğlu, 1979). Güngördü (1999)'da yaptığı çalışmalarda 35-40 m kadar boylanabilen Q_F geniş ve yayvan yapraklara sahip olduğunu bildirmiştir. Genel olarak da düşük rakım ve dağlık bölgelerde rastlanan Q_F ortalama yükseltisi 1000 m olarak bilinmektedir. En yüksek 1200-1300 rakımlarda bulunduğu bilinen Q_F Makedonya'da sıra dışı durumlarda 1600 m rakımda dâhi görüldüğü bilinmektedir. Q_F ile karışık şekilde yaşayan diğer meşe türleri çalışmamızda da yer alan Q_C ve Q_P türleridir. Diğer türlerle de karışık ormanlar kurabilen bu meşe türü özellikle Kayın ve Kestane ile birlikte karışık geniş yapraklı ormanlar kurabilmektedir. Odunun kullanımı olarak Q_C ve Q_P meşeler gibi yakacak ve peyzaj alanında değerlendirilebilmektedir. Odunun kolay çatlamasına rağmen yapı malzemesi olarak da kullanılabilen Q_F alle ağacı olarak da Avrupa ve ülkemizde değerlendirilmektedir. Ülkemizde doğal olarak görüldüğü bölge Kuşadası'nda bulunan Samsun dağı olarak bilinmektedir (Yaltırık, 1984)

Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modeli geliştireceğimiz bu yüksek lisans tezinde, tezin giriş bölümünde ormancılık çalışmaları, amenajman planları, çap-boy

modellerinin önemi ve çalışmamıza konu olan meşe türleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

“Kaynak Özetleri” kısmında literatürde yer alan birçok tür için geliştirilmiş çap-boy modelleri ve bu çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

“Materyal ve Yöntem” kısmında ise çalışma yaptığımız alanlar, türlerden elde ettiğimiz veriler, bu verileri nasıl elde etme yöntemleri yer almaktadır. Veriler ile denediğimiz çap-boy modelleri ve bu modellerin model performansları verilmiştir.

“Bulgular” kısmında çalışmamızda kullanılan modellerin başarı durumları tablolar ve çizelgeler ile birlikte verilmiştir. Elde ettiğimiz bulgular hakkında meşe türleri için tahmin doğruluğu daha yüksek modeller belirtilmiştir.

“Tartışma ve Sonuç” kısmında ise tüm çalışma yöntemlerin genel bir değerlendirmesi yapılmış ve çap-boy modelleri hakkında önerilere yer verilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yüzyıla yakın bir süredir bir ağacın çapına göre boyunu tahmin edebilme ve bunu bir model biçiminde oluşturabilmek amacıyla çok farklı matematiksel formlarda çap-boy modeli geliştirilmiştir (Kozak, 1988; Clark vd., 1991; Bi, 2000; Fang vd., 2000; Sharma ve Oderwald, 2001; Lee vd., 2003; Sharma ve Burkhart, 2003; Kozak, 2004; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009a; Yang vd., 2009b; Gomez-Garcia vd., 2013; Arias-Rodil vd., 2015; Sabatia ve Burkhart, 2015; Arias-Rodil vd., 2017; Özçelik ve Cao, 2017; Özçelik ve Yiğit, 2018). Kuzey Amerika'da değişik ağaç türleri için çap-boy denklemleri geliştirilmiştir ve bu çalışmalarda en uygun modeli seçmek için Ortalama mutlak hata, Belirtme katsayısı ve Ortalama hata ölçütleri kullanılmıştır (Curtis 1967; Wykoff vd.1982; Larsen ve Hann 1987; Wang ve Hann 1988; Huang vd. 1992; Zhang 1997; Peng 2001). Dünyada ilk genelleştirilmiş çap-boy modeli Wiedemann (1936) tarafından geliştirilmiştir. İlk modelin geliştirildiği tarihten bugüne kadar birçok model bazen aynı yaşlı meşçereler için (Lopez-Sanchez vd., 2003; Soares ve Tome, 2002) bazen de değişik yaşlı meşçereler için geliştirilmiştir (Temesgen ve Gadow, 2004; Sharma ve Parton, 2007). Bugüne kadar dünya genelinde, pek çok ağaç türü için çap-boy modeli geliştirilmiştir (Curtis, 1967; Wykoff vd., 1982; Larsen ve Hann 1987; Wang ve Hann 1988; Parresol, 1992; Moore vd., 1996; Zhang 1997; Fang ve Bailey 1998; Fekedulegn vd., 1999; Yuancai ve Parresol 2001; Soares ve Tomé, 2002; López-Sánchez vd., 2003; Diéguez-Aranda vd., 2005; Mehtatalo, 2004; Brooks ve Wiant 2007; Lootens vd., 2007; Ademe vd., 2008; Sönmez 2009; Mısır vd., 2012; Özçelik ve Diamantopoulou, 2013; Özçelik vd., 2019; Bronisz ve Mehtatalo, 2020).

Karışık etkili modeller ile modellerin tahmin gücünü arttırılabilmek için kalibrasyon işlemine imkân sağlamaktadırlar. Bu amaçla karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak farklı ağaç türleri için çok sayıda çap-boy modeli geliştirilmiştir (Lappi, 1997; Jayaraman ve Zakrzewski, 2001; Calama ve Montero, 2004; Wang vd., 2007; Trincado vd., 2007; Crecente-Campo vd., 2010; Özçelik vd., 2013; Gomez-Garcia vd., 2015; Mehtatalo vd., 2015; Zhang vd., 2016).

Arabatzis ve Burkhart (1992), Güneydoğu Amerika'da *Pinus taeda* plantasyonlarında çap-boy modeli ve örnekleme yöntemleri geliştirmiştir. 6 yıl aralıklarla aynı bölgelerde fakat farklı ağaçları ölçümlemişlerdir. Bu ölçülen ağaçları test etmek için 2

katmanlı bir ölçme yapmışlardır. Elde edilen veriler ile 8 tane çap-boy modeli test edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Model 6 en başarılı tahminleri yapmıştır.

Parresol (1992), Kuzeybatı Amerika’da *Taxodium distichum* L. Rich türünde çap-boy denklemi geliştirmiştir. 26 farklı alandan 157 adet örnek üzerinde doğrusal olmayan modelleri denemiştir. Çalışmalarda homojenlik ve normallik testleri de yaptıktan sonra doğrusal olmayan regresyon modeli olan Model 2 ve Model 4’ün hem tek ağaç hem de meşçere bazında doğru tahminler verdiğini söylemektedir.

Zhang (1997), 6 adet doğrusal olmayan büyüme fonksiyonunu kullanarak 10 ibreli tür için çap-boy modelleri geliştirmiştir. Türlerde doğrusal olmayan büyüme fonksiyonuna göre denemek isteyen Zhang en büyük orta ve en küçük çapları baz almıştır. Ölçüm yapılan ağaçların yarısı, model katsayısı için diğer yarısı da modelleri test etmek için kullanılmıştır. İşlemlerin sonucunda tüm modelleri küçük ve orta boyutta ağaçlar için yaklaşık tahminler yaptığını söylerken gövde çapı 100 cm’den büyük olan ağaçlarda sadece Korf / Lundqvist modeli sağlıklı sonuçlar verebilmiştir. Genel olarak ibreli türlerde ise Richards, Weibull ve Schnute modelinin diğer modellerden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Fang ve Bailey (1998), Çin’in güney bölgesinde Hainan adalarında bulunan tropikal ormanlarda farklı ağaç türleri için çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için 31 örnek alandan 8352 adet kesilmiş ağaç ölçülmüştür. Doğrusal, doğrusal olmayan, hiperbolik, 3 parametrelili ve 4 parametrelili olmak üzere 33 model test edilmiştir. Modellerin testi sonucunda biyolojik ve bölgesel parametrelerin de eklendiği Exponential modelin değiştirilmiş bir formu daha başarılı bulunmuştur.

Huang vd. (1999), Alberta’da *Pinus contorta* türünde 25 farklı çap boy modeli test edilmiştir. 4 farklı ekolojik bölgede test edilen çap-boy modelleri arasında en verimli bulunan model Chapman-Richards denklemine dayanan Model 12 olmuştur. Modeller denenirken Karışık Boreal Bölge, Kayalık bölge, Alt ve Üst sınır zon bölgelerinden kesilmiş toplam 3679 adet *Pinus contorta* veri elde edilmiştir. Yine bu çalışma sonucunda, çap-boy modelleri boy tahmini başarısının bölgeden bölgeye farklılıkların olduğunu bildirmiştir.

Peng (1999), Kuzey Ontario'da 21.571 adet ağaçtan çap ve boy verileri toplamıştır. Toplanan verilerin %90'ı model geliştirmede %10'luk kısmını da geliştirdiği modelleri test etmek amaçlı kullanmıştır. Yapılan testlerde içbükey ve sigmoid yapıların çap-boy tahminlerinde başarılı olduğunu Weibull, Chapman Richards ve Schnute modelinin en başarılı modeller olurken bu modellerin de hata paylarının ağaç boyları uzadıkça arttığını bildirmiştir.

Huang vd. (2000), Boreal ormanlarda beyaz ladin türünde yapmış olduğu çap-boy modeli için 3034 ağaç kullanmıştır. Çalışmada kullanılan ağaçların; alanın yoğunluğunu, yüksekliğini, tür karışımını, yaşını ve buldukları alanı temsil eden ağaçlar olduğunu bildirmişlerdir. Ekosistem tabanlı orman yönetimi için bölgelerin ekolojik verileri bilinmeli ve ona göre verim gücü hesaplanmalıdır. Bu hesaplamada Logistic tipi fonksiyondan faydalanılması gerektiğini önermiştir. 27 doğrusal olmayan model değerlendirilmiş ve Logistic tip fonksiyonların daha güvenilir sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bölgesel bazda daha güvenilir tahminler sağlayabildiği ve bu modelleri benzer bölgelerde uygulanabileceği için bölgesel bazda modeller geliştirilmesini önermişlerdir.

Lei ve Parresol (2001), çap-boy ilişkilerinin modellenmesinde Bertalanffy-Richards ve Schnute fonksiyonlarının kullanılmasını tavsiye etmektedirler. Fakat Bredenkamp ve Gregoire (1988) Güney Afrika'da *Eucalyptus grandis* türünde Chapman-Richards modeli ile genelleştirilmiş Schnute modelini karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın amacı belirli bir seviyedeki meşçere sıklığına kadar Chapman-Richards modeli başarılı olurken, meşçere yoğunluğu artınca modelin büyümeyi tahmin etmede başarılı olmadığı görülmüştür. Bu nedenle Schnute modeli ile yüksek yoğunlukta olan meşçerelerde bile büyümeyi başarılı bir şekilde tahmin ettiği görülmüştür.

Yuancai ve Parresol (2001), daha önce denenmiş çap-boy model formları incelemiştir. Model seçimi sırasında, çap-boy ilişkileri formları, yalnızca veriyle ilgili kriterleri değil hem veriler hem de temel biyolojik kriterlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. S şekli oluşan modellerin, uygun veriler toplandığında en iyisi olduğunu söylemektedirler. Çap-boy ilişkilerin modellenmesi için Bertalanffy-Richards ve Schnute fonksiyonlarının diğer modellere göre daha esnek sonuçlar verdiğini söylemektedirler.

Colbert vd. (2002), 13 geniş yapraklı türde çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Örnekleri 7 farklı nehir yakınında bulunan Angiosperma olarak adlandırılan Akçaağaç, Meşe, Söğüt, Karaağaç, Çitlembik, Dişbudak ve Dut türlerine ait 13 alttürden almıştır. Nehirler üzerinde 21 farklı örnek alan seçilmiştir ve tüm türleri doğrusal olmayan regresyon modelleri ile test edilmiştir. Elde edilen denklemlerle göğüs yüksekliği bilinen bu türlerin boy tahminlerinin, tüm alanı ölçmekten daha az maliyetli ve hata payı daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda Monserud modelinin boy tahmini açısından daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Soares ve Tome (2002), Portekiz için önemli ticari bir tür olan okaliptüslerde çap-boy denklemi geliştirmiştir. Okaliptüs plantasyonlarında yaptığı çalışmada 52 adet örnek alanda iki grup şeklinde çalışmıştır. Harrison ve Michailoff' un geliştirdiği denklemleri 3 farklı parametre ile düzenleyerek genç okaliptüs plantasyonlarında meşçere hacmi hesabında kullanılmak üzere çap-boy modelleri geliştirmiştir. Geliştirdiği modellerden Harrison' un H4 versiyonlu modeli en iyi sonucu vermiştir

Zhang vd. (2002), Ontario bölgesinde *Pinus banksina* türünde 10.727 adet ağacı devamlı örnek alanlarda ölçümlemişlerdir. Bu ölçümler sonucunda Chapman-Richards modeli ile il, bölgesel ve ekolojik bölgeler kapsamında 3 farklı bölgede bulunan 7 alanda test edilmiş ve ağaçların çap-boy tahmini için kullanılmasının sağlıklı sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise farklı alanların sahip oldukları farklı yağış değerleri, toprak tipi özellikleri ve bölgelerin coğrafi konumları etkili olmuştur. Bunun üzerine farklı ekolojik bölgelerde kullanılmak üzere yeni bir model geliştirilmiş ve 3 bölge için de test edilmiştir. Bu geliştirilen ekolojik değerlere dayalı çap-boy modelinin daha doğru boy tahminleri yaptığı görülmüştür.

Lopéz Sanchez vd. (2003), İspanya'nın Kuzeybatısındaki Sahil çamı türü için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan veriler Kuzeybatı İspanya'da aynı yaşlı ve saf Sahil çamı meşçerelerinde 182 adet sabit örnek alandan elde edilmiştir. Meşçere özellikleri arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek için 9686 ağaç ile doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon prosedürleri uygulanarak toplamda 26 model geliştirilmiştir. Modelleri denerken 3 farklı grup halinde ayrılmıştır. Modellerin tutarlılığının testi çapraz doğrulama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Modellerin karşılaştırılması F-testi

yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda, geliştirilen Cox II modelinden ufak farklılıklarla Tomé modelinin boy tahmini için en iyi sonuçları veren model olmuştur.

Calama ve Montero (2004), İspanya'da Fıstık çamında toplamda 455 örnek alandan 8614 ağaçtan veri olarak doğrusal olmayan 5 model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modellerde yüksek korelasyon olmasından dolayı rastgele katsayılı doğrusal olmayan karışık modelleri de denemişlerdir. İspanya orman varlığı için önemli 4 bölgeden veri toplayan ve bu bölgelerdeki alanların çeşitliliğini ortaya koymak için sıklık, hâkim boy ya da çap dağılımı gibi meşcere parametrelerini de modele dahil eden Calama ve Montero, İspanya'da ticari değeri yüksek olan fıstık çamı için başarılı bir model geliştirmişlerdir.

Peng vd. (2004), Kanada'nın Ontario bölgesinde farklı ekolojik özellikleri sahip 7 bölge için siyah ladin türüne ait bölgesel çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Model için kalıcı örnek alanlarda bulunan 11.612 adet ağaç ölçülmüştür. Bölgelerin 5 tanesinde boreal iklim tipi görülürken kalan 2 tanesinde de merkezi iklim tipi görülmektedir. Doğrusal olmayan Chapman-Richards modelinin, boreal ve merkez bölgelerde yetişen siyah ladin için başarılı çap-boy tahminleri gerçekleştirdiğini bildirmişlerdir.

Temesgen ve Gadow (2004), British Columbia'nın iç kesimlerinde yer alan karışık meşcerelerde çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan veriler sabit örnek alan yöntemi ile elde edilmiştir ve 12.114 adet ağaç modellerde kullanılmak üzere ölçülmüştür. Çalışmada örnek alanlardaki hâkim ağaç boyu değeri model geliştirmede önemli bir parametre olarak eklenmiştir. Çalışma sonucunda ise karışık meşcerelerdeki hâkim ağaç türlerinin boylarının tahmin edilmesinde söz konusu modellerden Yang (1998)'in Model 2 ve Model 7 diğer modellere oranla daha başarılı tahminler gerçekleştirmiştir.

Dieguez-Aranda vd. (2005), Galiçya'daki (Kuzeybatı İspanya) Sarıçam plantasyonları için göğüs çapı ve değişken olarak bazı meşcere özellikleri kullanılarak çap-boy modeli geliştirilmiştir. Elde edilen veriler 155 örnek alandan alınmıştır. Örnek alan seçiminde silvikültürel olarak sıklık bakımı yapılmış alanlar tercih edilmiştir. Çap- boy

ilişkisi için 9 farklı model test edilmiştir. Yapılan işlemler sonucunda Gaffrey (1988) denkleminin modifiye edilmiş bir versiyonu ile en başarılı tahminler yapılabilmektedir.

Castedo- Dorado vd. (2006), Kuzeybatı İspanya'nın Galicia bölgesinde 449 adet örnek alanda 15.722 adet Monteri çamından veri toplamışlardır. Toplanan veriler ile karışık etkili çap-boy modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model sabit ve rastgele parametreleri de dahil edip Schnute modeline dayanarak geliştirilmiştir. Bu model ile ölçümü yapılmamış boy değerlerini de başarılı şekilde tahmin edebileceğini ve böylelikle monter çamı için meşçere hacmi ve biyokütle hesaplamalarında da kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Brooks ve Wiant (2007), Appalachian geniş yapraklı ağaç türleri için ekolojik özellikli çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Model geliştirmek ekolojik bölgeler arasında ortaya çıkan farklılıkları tahmin başarısı nedeniyle Chapman-Richards modelini seçmişlerdir. Literatürde yapılmış birçok çalışmada başarılı tahmin performansı ve parametrelerinin biyolojik objeleri tanımlayabilmesinden ötürü doğrusal olmayan Chapman-Richards büyüme fonksiyonu kullanılmıştır (Pienaar ve Turnbull 1973; Pienaar ve Shiver 1980; Pienaar ve Shiver 1984; Huang vd., 1992).

Lootens vd. (2007), Güneydoğu Missouri'de 12 tür için toplam ağaç yüksekliğini tahmin etmek için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Missouri'de 9 tür için kullanılan bir modeli modifiye ederek 11 tür için boy tahmini yapmak isteyen araştırmacılar, yaklaşık 10.000 ağaçtan veri alarak bu türler için başarılı boy tahmini yapabilen bir doğrusal olmayan regresyon modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model yüksek rakımda yayılış gösteren türler için başarılı boy tahmini yapmaktadır.

Sharma ve Parton (2007), Canada Kuzey Ontario bölgesinde yetişen 8 farklı tür için karışık etkili çap-boy modeli geliştirmiştir. Elde edilen verilerin yarısı modeli test etmek diğer bir yarısı da modeli geliştirmek için kullanılmıştır. Ağaç boyunu belirlemede çeşitli meşçere karakteristikleri eklenerek Chapman-Richards fonksiyonları kullanılmıştır. Bu fonksiyonlara dayanan karışık etkili doğrusal olmayan model, göğüs yüzeyi, hektardaki ağaç sayısı, baskın meşçere boyu ve çapı gibi özelliklerin tahmin edilmesinde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu bölgedeki türler için yüksek AIC değerine

sahip Chapman-Richards modeline dayanan doğrusal olmayan karışık etkili çap-boy modeli boy tahminlerinde başarılı bulunmuştur.

Trincado vd. (2007), Taeda çamı meşcereleri için bölgesel düzeyde karışık etkili çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çap-boy ilişkilerinin geliştirilmesi amacıyla üssel fonksiyon kullanılmıştır. Bu amaçla model tesadüfi ve sabit etkili parametreleri de içerecek şekilde doğrusal forma çevrilmiştir. Yapılan kalibrasyon işleminin sonucunda her örnek alan için tek bir örnek ağacın kullanılması sonucunda çap-boy ilişkileri ile modelleri için ilave bir tahmin değerlerine (meşcere sıklığı vb.) ihtiyaç olmayacağı görülmüştür. Trincado vd. (2007), Temesgen vd. (2008) ve Huang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda kalibre edilmiş çap-boy modellerinin bölgesel çap-boy modellerine göre daha iyi tahminlere imkân sağladığı ifade edilmektedir.

Ademe (2008), Pirene meşesi için doğrusal olmayan karışık çap-boy modelleri geliştirmiştir. Modelin oluşturulması için toplamda 24.627 çap-boy verisi kullanılmıştır. 11 doğrusal olmayan çap-boy denklemi, değişken olarak ağaç boyutlarını kullanarak 6 farklı biyojeoklimatik bölge için lokal modeller oluşturulmasında kullanılmıştır. Lokal modellerin seçiminin ardından bölgesel ya da genel model de incelenmiştir. Çeşitli meşcere parametreleri ile geliştirilen model doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemi ve Lakkis-Jones testi ile değerlendirilmiştir. Model 2, Model 6 ve Model 8 hakim boy ve meşcere göğüs yüzeyinin tahmin edilmesinde en iyi sonuçları veren modeller olmuştur.

Carlson vd. (2008), Güneydoğu Amerika'da 600 örnek alanda yer alan Taeda çamında boy ölçümlerinin doğruluğu test etmişlerdir. Boy ölçümünde tüm alanda ölçümlerin maliyetlerini yüksek olduğunu bildikleri ve bunu en düşük maliyetle ölçebilmek için uygun meşçere yoğunluğu ve örnekleme yöntemine karar vermişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda en uygun örnekleme yöntemini bulmak amacıyla 4 farklı meşçere yoğunluğunda (%75, %50, %25, %10) yer alan türleri ölçerek bunları da 4 farklı yöntemle test etmişlerdir. Envanter çalışmalarında kullanılan; Sistematik örnekleme, basit rastgele örnekleme, çap dağılımları boyunca tabakalı örnekleme ve her bir örnek alanda ilk ağaçları örnekleme yöntemlerini denemişlerdir. Sonuç olarak bu çalışma ile meşçerenin %50 yoğunlukta olması ve sistematik örnekleme yöntemi

ile ağaç boyunu doğru tahmin edilebileceği böylelikle envanter çalışmalarında maliyeti düşüreceğini ve boy ölçümlerinin doğruluğunun artacağını belirtmişlerdir.

Çatal (2009), Batı Akdeniz yöresinde Kızılcam meşcerelerinde artım ve büyüme tek ağaç ve meşcere düzeyinde meşcere yaşı, bonitet sınıfı ve sıklık derecelerine göre incelemiştir. Aynı yaşlı saf ve doğal kızılcam meşcereleri için artım ve büyüme simülasyonu geliştirmek için model geliştirmiştir. Ayrıca çalışmasında yöresel bir çift girişli hacim tablosu, bonitet tablosu ve çift kabuk kalınlığı tablosu da düzenlemiştir.

Sönmez (2009), Kuzeydoğu Artvin bölgesinde aynı yaşlı ve saf Doğu Ladini meşcerelerinde 440 adet ağaçtan veri elde etmiştir. Verilerin büyük bir bölümünü 17 tane doğrusal olmayan modeli geliştirmek için kullanmıştır. Geriye kalan 34 adet veri ise modelleri test etmek amacıyla değerlendirmiştir. Yapılan çalışma bireysel çap ve diğer meşcere parametrelerinin, yükseklik tahmini için kullanılan çeşitli modellerin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda Doğu Ladini için yükseklik tahmininde en yüksek R^2 ve en düşük Ortalama Kareler Hatasına sahip Model 8 ve Model 16 en başarılı modeller olarak bildirilmiştir.

Vargas–Larreta vd. (2009), El Salto Durango’da beş çam, üç herdem yeşil meşe ve dört farklı geniş yapraklı tür için değişik yaşlı meşcerelerde, 55 farklı örnek alandan, 8270 adet ağaçtan veri toplamışlardır. Yapılan bu çalışmada değişik yaşlı meşcerelerde, doğrusal olmayan karışık etkili çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Modellerin, performans kriterli göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede Sharma-Parton modelinin diğer 6 modele göre daha iyi sonuç gözlemlenmiş ve farklı ekolojik bölgelerde de bu modelin denenmesini önermişlerdir.

Crecente-Campo vd. (2010), Galicia’da Okaliptüs türü için geliştirilmiş çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Çalışmada aynı yaşlı ve değişik yaşlı saf okaliptüs meşcerelerinde bulunan 1313 sabit örnek alanda yer alan 26.592 ağaçtan elde etmişlerdir. 25 farklı model sabit ve rastgele parametrelili değişkenlerle test edilmiştir. Modellerde en iyi sonuçları, sabit parametre olarak baskın boy ve baskın çapı baz alan modeller vermiştir. Bu modeller gözlemlenen değişkenliğin %83’ünü 2.5m gibi küçük bir mutlak hata ile tahmin edebilmektedir.

Mısır (2010), Türkiye'nin Kuzeydoğusundaki doğal Titrek kavak meşcereleri için geliştirilmiş çap-boy modelleri geliştirmiştir. 46 farklı örnek alandan alınan 1385 ağaçtan 4 defa ölçüm yapılarak 5540 çap ve boy verisi elde edilmiştir. Tek ağaç çapı ve meşçere parametrelerinin de eklendiği iki farklı sette 11 farklı model, boy tahmini için denenmiştir. Denenen modeller arasında Schnute modelinin titrek kavak için daha başarılı tahminler yaptığı görülmüştür.

Diamantopoulou ve Özçelik (2012), Türkiye'nin Batı Akdeniz bölgesinde bulunan Toros sediri, Toros göknarı ve Kızılçam türlerinde toplam ağaç boyunu hesaplayabilen modelleri değerlendirmiştir. Bu türlere ait çap-boy ilişkilerini ortaya koyan altı adet doğrusal olmayan model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelleri ek olarak Genel Regresyon Sinir Ağı (GNRR) yöntemini de dahil ederek boy tahmininde başarıları karşılaştırmışlardır. Modellerin performansı incelenmiş ve yapay sinir ağları yardımıyla GNRR, doğrusal olmayan modellere göre daha başarılı tahminler yaptığı gözlemlenmiştir.

Ercanlı vd. (2012), Trabzon OBM sınırları içerisinde bulunan Doğu ladini ve Sarıçam türleri için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için 106 örnek alandan veri elde etmişlerdir. Doğu ladini ve sarıçam için doğrusal ve Doğrusal olmayan karışık etkili modeller çap-boy arasındaki ilişkiyi otokorelasyon ve seri korelasyon olmadan açıklamıştır. Çeşitli başarı ölçütleri ile model performanslarını karşılaştıran araştırmacılar, Schnute (1981) ait denklem ile geliştirilen karışık etkili doğrusal olmayan modelin, diğer modellere oranla daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Lhotka (2012), Alabama, Georgia ve Güney Carolina'da yayılış gösteren beş farklı tür için çap-boy modeli geliştirmiştir. Model için 447 örnek alandan 7122 adet ağaç, 5 yıllık periyotta ölçülmüştür. Her bir tür için Chapman-Richards fonksiyonuna dayanan karışık etkili regresyon modelleri kullanılmıştır. Model geliştirilirken temel ve eş değişkenli 2 tip denklem denenmiştir. İlk denklemde ağaçların çap değerli üzerinden hesaplama yapılırken ikinci denklemde modele meşçere parametreleri de eklenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Model 6 en başarılı çap-boy tahminleri yaptığı görülmüştür.

Scaranello vd. (2012), Brezilya'nın Güneydoğusunda yer alan Atlantik kıyısındaki yağmur ormanlarında bulunan hâkim ağaç türlerinde yükselti farklılıklarını baz alarak, bölgesel çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada iki yıl boyunca 13 ha alanda 268 adet ağacın 0, 100, 400 ve 1000 m yükseltideki çap ve boyları ölçümlenmiştir. Veriler doğrusal ve doğrusal olmayan 11 farklı çap-boy modelinde test edilmiştir. Bölgesel parametreler ile modifiye edilen Chapman-Richards ve Weibull modellerinin modeller arasında çap-boy ve biyokütle tahmininde daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Çatal (2012), Göller yöresinde bulunan Yalancı akasya, Karaçam ve Sedir türleri için çap-boy modeli geliştirmiştir. Geliştirilen model için 100 adet örnek alandan veri elde edilmiştir. Çalışmada Monserud (1975) tarafından geliştirilen denklem temel alınarak doğrusal olmayan regresyon modeli geliştirilmiş ve bu model ile Yalancı akasya için 0.916, Karaçam için 0.753 ve Toros Sedir'i için 0.729 belirtme katsayısı elde etmiştir.

Ahmadi vd. (2013), İran'ın Hyrcanian ormanlarında Doğu Kayını türü için çap-boy modelleri geliştirmiştir. Model geliştirmek için 605 adet ağaçtan veri elde etmiştir. Ölçümlerde çapı 7 cm'den küçük ağaçlar çalışmaya dahil edilmemiştir. 6 farklı doğrusal olmayan çap-boy modeli test edilmiştir. Test için Ortalama Kareler Hatası, Ortalama Hata, Akaike Bilgi kriteri, Ortalama Fark, Mutlak Fark kriterlerine göre model başarısı belirlenmiştir. Test edilen modeller arasından küçük farklarla da olsa Chapman-Richards, Weibull ve Schnute modelleri diğer modellerden daha başarılı olmuştur.

Lopez vd. (2013), Kolombiyanın Atlantik kıyılarında, bölgenin önemli türlerinden olan *Okaliptus tereticornis* türünde bölgesel çap-boy modeli geliştirmişlerdir. 63 adet sabit örnek alandan veriler elde eden araştırmacılar, bu alanlarda 10 farklı bölgesel modeli, farklı meşçere yoğunluğu ve yaş aralıklarında test etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda modeller arasında çok farklı sonuçlar ortaya çıkmasa da Krumland ve Wensel' e ait 3 parametrelili model en iyi sonuçları vermiştir.

Özçelik ve Çapar (2014), Antalya'daki Kızılcım meşçereleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği yardımıyla çap-boy denklemleri geliştirilmiştir. Bu amaçla 59 adet örnek alanda toplam 2087 ağaç üzerinde çap-boy ölçümleri yapılmıştır.

Çalışmada geleneksel doğrusal olmayan çap-boy modelleri, genelleştirilmiş çap-boy modelleri ve karışık etkili doğrusal olmayan çap-boy modeli kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda karışık etkili doğrusal olmayan çap-boy modellerinin daha başarılı olduğu görülmüştür.

Özçelik vd. (2014), Türkiye'nin güneyinde 3 asli türümüzde (Kızılcım, Karaçam ve Toros Sediri) yaptığı çalışmada doğrusal olmayan ekstra kareler yöntemini kullanarak çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada alanlar 3 farklı ekolojik bölge olarak tanımlanmıştır. Örnek ağaçlar buldukları bölge ve meşçereleri temsil edecek nitelikteki ağaçlardan toplanmıştır. Çalışma sonucunda yapılan istatistiksel çalışmalar sonucunda Chapman-Richards modelinin bu önemli 3 türümüz için diğer modellere göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ahmadi ve Alavi (2016), İran Hyrcanian bölgesinde Doğu kayını için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için değişik yaşlı 75 örnek alanda bulunan 1067 ağaçtan veri elde etmişlerdir. Elde edilen veriler ile Doğu kayını için 39 genelleştirilmiş çap-boy modelini test etmişlerdir. Meşçere ve ağaçların değişkenlerini ölçen araştırmacılar en başarılı model seçimi için göğüs çapı, dominant boy, hektardaki göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı değişkenlerinin içeren genelleştirilmiş modellerin doğu kayını için daha başarılı tahminler yaptığını bildirmişlerdir.

Carus ve Akguş (2018), Tarsus yöresi Fıstıkçanı plantasyonları için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için 259 örnek alanda bulunan 5885 adet ağaçtan veri elde etmişlerdir. Elde edilen verilen %80 model geliştirmek kalan %20 ise geliştirilen modelleri test etmek amacıyla kullanılmıştır. 20 adet model test edilen bu çalışmada, 6 farklı ölçüt değer kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda sırayla Prodan, Sibbesen ve Ratkowsky tarafından geliştirilen modeller diğer modellere oranla daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Filho vd. (2018), Brezilya'nın Santo-Bahia bölgelerinde bulunan ve önemli bir ticari tür olan Okaliptüs plantasyonlarında çap-boy modelleri ile farklı yoğunluklardaki plantasyonların üretebileceği hacmi hesaplamak için model geliştirmişlerdir. Model oluşturmak için 312 örnek alanda bulunan 85.608 adet okaliptüsten farklı yaş aralıkları ve yoğunlukta meşçerelerden veri elde etmişlerdir. Verileri sabit ve rastgele

parametreliler modeller ile deneyen araştırmacılar, Model 3'ün diğer modellerden daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Ercanlı ve Eyüboğlu (2019), Bursa ilinde bulunan aynı yaşı, saf Göknaş meşçerelerinde çap-boy modelleri performanslarını karşılaştırmışlardır. Model performansları karşılaştırmak için 60 adet örnek alanda bulunan 548 ağaçtan veri elde etmişlerdir. Doğrusal olmayan model performansları ile karışık etkili doğrusal olmayan modeller ve otoregresif modellerin model performansları 5 farklı başarı ölçütü ile denenmiştir. Yapılan işlemler sonucundan doğrusal olmayan modellerde ortaya çıkan otokorelasyon sorununu Karışık etkili doğrusal olmayan modeller ve otoregresif modellerde görülmemiştir.

Doyog vd. (2020), Filipinler'de *Parashorea malaanonan*, *Diplodiscus paniculatus* ve *Celtis luzonica* türleri için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Modellerde kullanılmak üzere üç türden toplam 542 adet çap-boy verisi elde edilmiştir. Elde edilen veriler 6 tane doğrusal olmayan model ile test edilmiştir. *P. malaanonan* türü için Weibull modeli en başarılı performansı göstermiştir. Diğer türler *D paniculatus* ve *C.luzonica* için ise Korf-Lundqvist modeli, diğer modellerden daha iyi tahminler yapmıştır.

Rodríguez-Ortiz vd. (2020) Meksika'da yer alan 5 farklı çam türleri için çap-boy modeli geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için farklı silvikültürel müdahale görmüş meşçerelerde bulunan 1041 örnek alandan 4899 adet ağacın bireysel çap ve boy ölçümü yapan araştırmacılar, Patula çamı, Oaxacana çamı, Ayacahuite çamı, Teocote çamı ve *Leiophylla* çamı türleri için genelleştirilmiş çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için 5 farklı modeli, farklı başarı ölçütleri ile karşılaştıran araştırmacılar; Patula, Oaxacana ve Ayacahuite çamı için Sharma ve Parton ait modelin, Teocote çamı için Nilson'a ait modelin ve *Leiophylla* çamı için ise Wang ve Tang tarafından geliştirilen modellerinin tür bazında çap ve boy tahmininde %73 ile 85 daha başarılı tahminler yaptığını bildirmişlerdir.

Raptis vd. (2021), Yunanistan'da bulunan Olympos ulusal parkında yayılış gösteren Karaçam türü için çap-boy modelleri geliştirmişlerdir. Model geliştirmek için 66 örnek alanda yer alan 3442 ağaçtan veri elde edene araştırmacılar, model geliştirmek için; doğrusal olmayan basit, genelleştirilmiş ve karışık etkili modeller kullanmışlardır.

Çalışma sonucunda Olympos ulusal parkında yer alan karaçam türü için dominant çap ve boy değişkenlerinin olduğu karışık etkili Chapman-Richards modelinin en başarılı model olduğunu bildirmişlerdir.

Chenge (2021), Güneybatı Nijerya’da yer alan Omo orman koruma bölgesinde yayılış gösteren 100 ağaç türünün çap-boy ilişkilerini açıklamak için model geliştirmiş. Çalışmada ağaç türlerini 3 gruba ayıran araştırmacı, ağaç verilerini 8 farklı basit model ve karışık etkili modelleme tekniği ile test etmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda Power tarafından önerilen modelin karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilen yapısına uygulanan kalibre işlemi, boy tahmini için daha sağlıklı sonuçlar üretmiştir.



3.MATERYAL VE YÖNTEM

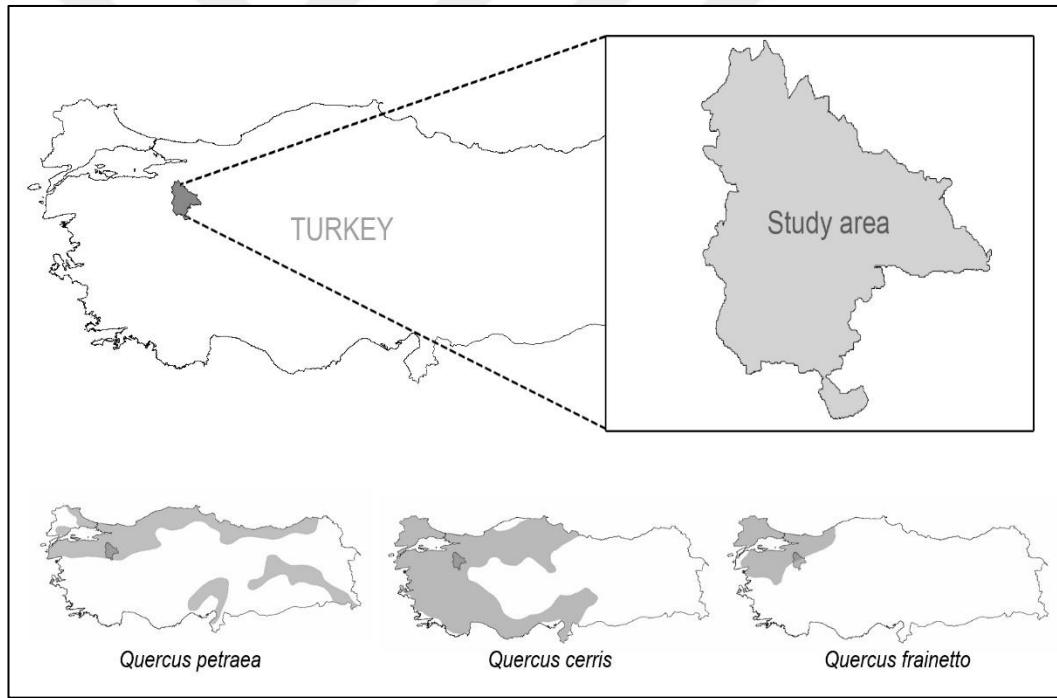
3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan örnek ağaç verileri, Bursa Orman Bölge Müdürlüğüne bağlı, Bilecik Orman İşletme Müdürlüğüne ait Pazaryeri ve Eldemir İşletme Şefliklerinden 2020 yılında elde edilmiştir. Bu şeflikler, sahip olduğu zengin saf ve karışık meşe meşçereleri nedeniyle tercih edilmiştir.



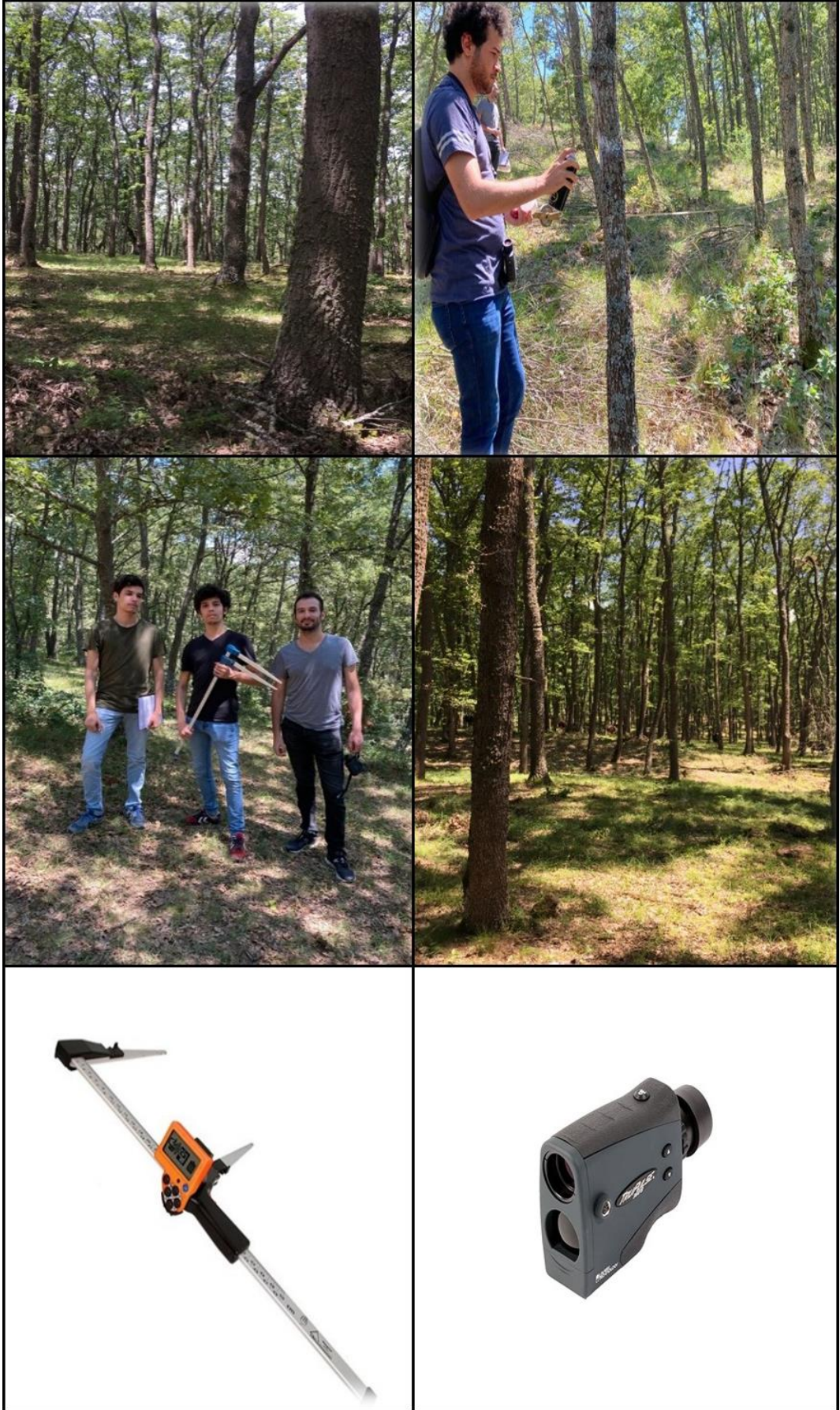
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki meşe türlerine ve ölçümlere ilişkin görseller

Çalışma kapsamında doğal meşe meşcerelerinin tüm gelişme çağları ve kapalılık sınıflarının temsil edilmesine özen gösterilmiştir. Bu amaçla, çalışma alanlarında mevcut tüm çap ve boy sınıflarını temsil edecek ve çalışma alanı içerisindeki tüm farklı meşçere kuruluşlarını temsil edecek ve yetiştirme ortamı şartlarının temsil edilmesine çalışılmıştır. Her örnek alan içerisine en az 30 adet ağaç girecek şekilde 400 m² ile 1200 m² arasında değişen büyüklükte ve daire biçiminde örnek alanlar alınmıştır. Örnek alan içerisinde, çap-boy modeli geliştirmek amacıyla örnek ağaç ölçümü için, ağaç seçilirken çatal gövdelerin, tepesi-gövdesi kırık ağaçların ve gövde formu bozuk bireylerin alınmamasına özen gösterilmiştir. Çalışma alanı ve ilgili yörede üç meşe türünün yayış alanı Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekil 3.2’den de görüleceği gibi, çalışma alanı içerisinde Q_C , Q_P ve Q_F meşe türlerinin hem saf hem birbirleri ile karışık meşçereleri bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Çalışma alanları ve türlerin yayılış haritaları

Arazi çalışmaları esnasında toplam 70 adet örnek alanda ölçümler yapılmıştır. Örnek alanlarda toplam 2339 adet örnek ağaç ölçülmüştür. Çap ölçümleri, dijital çap ölçer yardımıyla 0.1cm hassasiyetle, ağaç boyu ölçümleri ise; Laser Technology TruPluse 360 Range Finder cihazıyla, 0.01m hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Bu cihazlara ait görseller Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Örnek alanlarda yapılan ağaç ölçümleri ve ölçüm cihazları görselleri

Çalışma alanında ölçümü yapılan Q_C , Q_P ve Q_F türlerine ait nitelendirici istatistikleri değerler Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Çizelge 3.1’de de görüleceği gibi ölçümü yapılan 2339 örnek ağaçtan 825 adeti Q_C , 1017 adeti Q_P ve 497 adet Q_F türüne aittir.

Çizelge 3.1. Çap-boy modeli geliştirmek için türlerin nitelendirici istatistikleri

Türler	Değişkenler	Ortalama	Minimum	Maksimum	SD
Saçlı meşe $n=825$	h (m)	21.34	7.70	36.10	6.87
	d (cm)	24.00	7.60	50.80	8.39
Sapsız meşe $n=1017$	h (m)	17.49	6.00	35.20	7.86
	d (cm)	19.99	6.50	54.80	8.65
Macar meşesi $n=497$	h (m)	11.40	5.80	23.20	3.23
	d (cm)	14.03	6.90	27.40	3.91

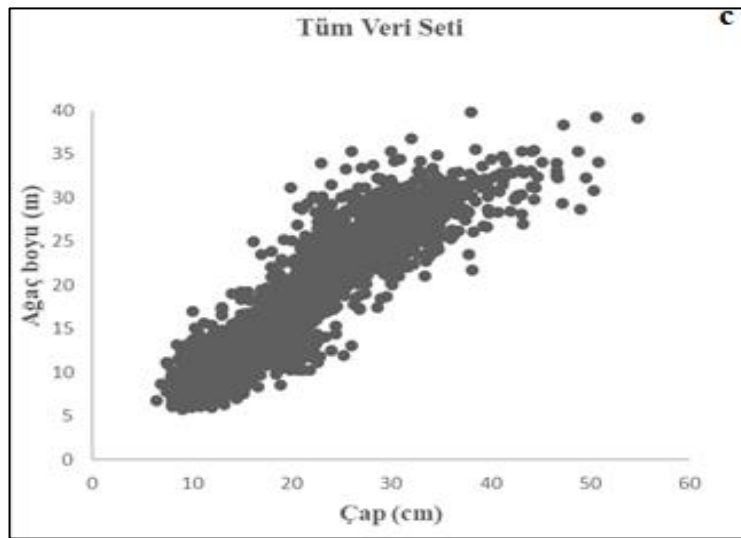
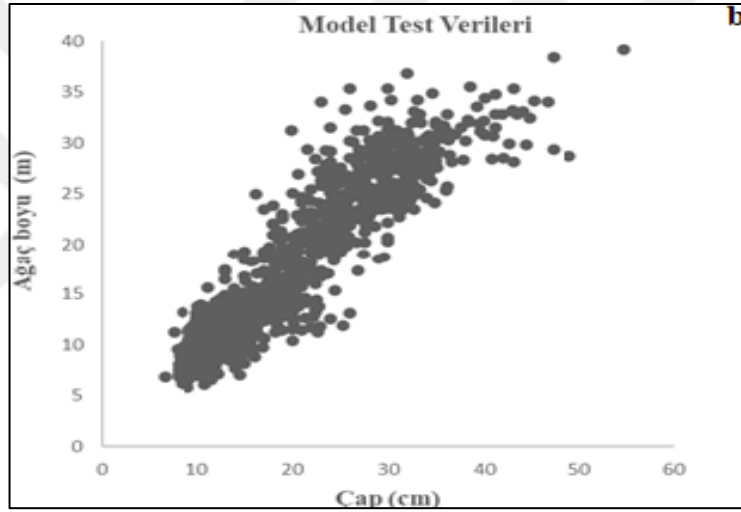
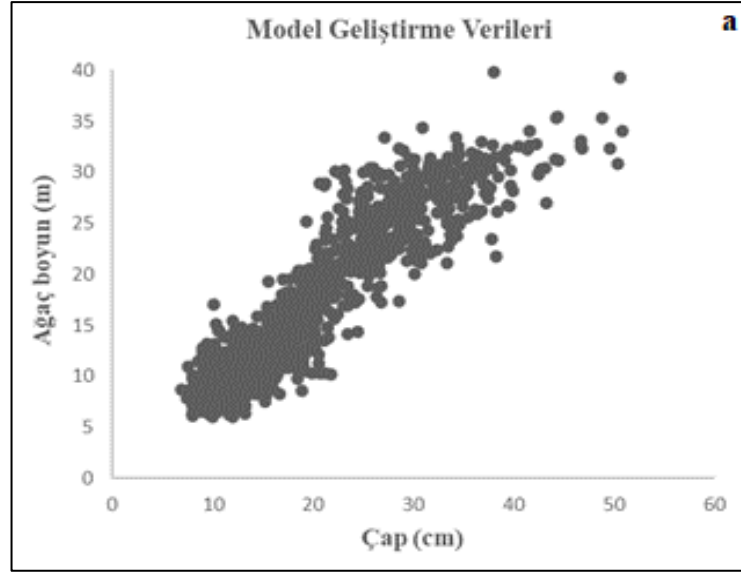
n = ağaç sayısı, h = ağaç boyu (m), d = 1.30 çap değeri (cm), SD= Standart sapma

Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modelleri geliştirmek amacıyla öncelikli olarak örnek alanlar tesadüfi olarak iki gruba ayrılmış; gruplardan biri model geliştirilmesi (35 örnek alan) ve parametre tahminlerinin yapılması amacıyla kullanılırken, diğer grup ise geliştirilen modellerin test edilmesi (35 örnek alan) amacıyla kullanılmıştır. Bu amaçla SAS programındaki *ranuni* alt sekmesi kullanılmıştır. Model geliştirme ve test verilerine ilişkin nitelendirici istatistikler Çizelge 3.2’de, tüm veri setine ve her iki gruba ilişkin çap-boy dağılım grafikleri de Şekil 3.4’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çap-boy modeli geliştirmek için veri gruplarının nitelendirici değerleri

Değişkenler	Model Geliştirme Verileri				Model Test Verileri			
	35 Örnek Alan 1161 Ağaç				35 Örnek Alan 1178 Ağaç			
	\bar{X}	Min	Mak	SD	\bar{X}	Min	Mak	SD
d	20.09	6.90	50.80	8.52	20.19	6.50	54.80	8.67
h	17.31	6.00	35.80	7.50	17.80	5.80	36.10	7.82
D_0	26.48	13.06	46.22	9.77	25.80	14.00	49.00	9.66
H_0	21.72	11.30	35.38	7.93	21.99	10.48	36.44	8.21
H_m	17.18	8.24	29.40	7.26	17.77	8.76	29.11	7.35
N	508.0	227.0	900.0	156.8	524.00	300.0	925.0	153.6
G	82.47	35.69	212.8	49.45	80.13	42.06	164.5	36.30

d = 1.30 çap değeri (cm), h = ağaç boyu (m), D_0 = Dominant çap (cm), H_0 = Dominant boy (m), N = Hektardaki ağaç sayısı, \bar{X} = ortalama, $G = (m^2 * h^{-1})$, H_m = Orta boy (m), SD= Standart sapma)



Şekil 3.4. Model geliştirmek (a), test etmek (b) ve tüm veri setine (c) ilişkin çap-boy ilişkileri

3.2. Yöntem

Bilecik yöresi meşe türleri için çap (d)- boy (h) modeli geliştirmek amacıyla: Doğrusal olmayan basit (temel) d - h modelleri ve Doğrusal olmayan genelleştirilmiş d - h modelleri olmak üzere iki farklı model tipi ile geleneksel en küçük kareler yöntemi (ONLS) ve doğrusal olmayan Karışık etkili (NLME) modelleme tekniği olmak üzere 2 farklı regresyon tekniği kullanılmıştır.

3.2.1. Doğrusal olmayan basit regresyon modelleri

Boy ölçümü, meşçere içerisinde ölçümü en zor, zaman alıcı ve maliyetli bir iş bölümü olarak kabul edilmektedir. Geçmiş günümüze kadar birçok araştırmacı ağaçların çap-boy ilişkilerini açıklayabilmek için çok sayıda doğrusal olmayan model geliştirmiş ve test etmişlerdir. Geliştirilen modeller farklı ülkelerde farklı yetiştirme ortamı ve türler için denenmiştir. Bu denemeler sonucunda yöresel veya tür bazında birçok model önerilmiştir. Çap-boy modeli geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalarda, Fang ve Bailey (1998) Exponential fonksiyonun, Zhang (1997) ise Bertalanffy-Richards, Weibull ve Schnute fonksiyonlarının daha başarılı olduğunu bulmuştur. Yuancai ve Parresol (2001) ise Schnute ve Bertalanffy-Richards fonksiyonlarının diğer fonksiyonlara göre çap-boy modellemelerinde daha esnek ve uygulanabilir modeller olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında, en başarılı basit çap-boy modelini bulmak amacıyla, daha önce farklı tür ve yörelerde yapılan çalışmaların sonuçlarında başarılı sonuçlar üreten on farklı doğrusal olmayan büyüme fonksiyonu seçilmiştir (Yang vd., 1978; Schnute, 1981; Huang vd., 1992; Zhang, 1997; Peng vd., 2001, Soares ve Tome, 2002; Lopez-Sanchez vd., 2003; Sharma ve Zhang, 2004; Temesgen ve Gadow, 2004; Mısır, 2010; Özçelik ve Çapar 2014; Bronisz ve Mehtatalo 2020; Doyog vd.2020). Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modeli geliştirmek ve en başarılı temel d - h modelini seçmek için test edilen modeller Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çap-boy modeli geliştirmek için kullanılan doğrusal olmayan basit regresyon modelleri

Model No	Model (Yıl)	Denklemler	Denklemler No
M1	Chapman-Richards (1959)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * (1 - \exp(-b_1 * d_{ij}))^{b_2}$	(3.1)
M2	Weibull (1978)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * (1 - \exp(-b_1 * d_{ij}^{b_2}))$	(3.2)
M3	Exponential (1990)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * \exp(\frac{b_1}{d_{ij} + b_2})$	(3.3)
M4	Mod Logistic (1986)	$h_{ij} = 1.3 + \frac{b_0}{1 + b_1^{-1} * d_{ij}^{b_2}}$	(3.4)
M5	Monserud (1984)	$h_{ij} = 1.3 + \exp(b_0 + b_1 + d_{ij}^{b_2})$	(3.5)
M6	Korf-Lundqvist (1989)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * \exp(-b_1 * d_{ij}^{-b_2})$	(3.6)
M7	Gompertz (1932)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * \exp(-b_1 * \exp(-b_2 * d_{ij}))$	(3.7)
M8	Schnute (1981)	$h_{ij} = (1.3^{b_0} + (b_1^{b_0} - 1.3^{b_0}) \frac{1 - \exp(-b_2 * d_{ij})}{1 - \exp(-b_2 * 100)})^{\frac{1}{b_0}}$	(3.8)
M9	Bates ve Watts (1980)	$h_{ij} = 1.3 + \frac{b_0 * d_{ij}}{b_1 + d_{ij}}$	(3.9)
M10	Lundqvist (1957)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * \exp(-b_1 * d_{ij}^{-b_2})$	(3.10)

d_{ij} i . örnek alandaki j . ağacın göğüs çapını, b_0, b_1, b_2 denklem parametrelerini, h_{ij} i . örnek alandaki j . ağacın boyunu ifade etmektedir.

3.2.2. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş regresyon modelleri

Doğrusal olmayan genelleştirilmiş regresyon modelleri, basit ya da temel $d - h$ modellerinden farklı olarak, model yapısına meşçere veya örnek alanları tanımlayıcı bazı değişkenlerin eklenebildiği modeller olarak bilinmektedir. Meşçereler; buldukları konum, iklim türü, toprak yapısı, tür çeşitliliği ve sahip oldukları sıklık, yaş, bonitet gibi birçok özellikleri ile birbirinden ayrılmaktadır. Meşçereler geniş alanlar kaplayabildikleri için kendi içerisinde zaman zaman büyüme ve gelişme özellikleri bakımından farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle çap-boy ilişkilerinde meşçereden meşçereye ve hatta aynı meşçere içinde farklı zaman ve konumlarda ölçülen ağaçlarda bile gelişim değişkenliği görülebilmektedir (Curtis, 1967). Bu nedenle tek bir çap-boy eğrisi referans alınarak meşçeredeki tüm ağaçların $d-h$ ilişkilerinin doğru tahmin edilebilmesi neredeyse imkansızdır (Castedo-Dorado vd., 2006; Ademe vd., 2008). Basit çap- boy modellerine meşçerelerin spesifik özelliklerini ekleyerek oluşturulan genelleştirilmiş modeller yardımı ile $d-h$ çap-boy

ilişkilerindeki varyansı minimum seviyeye indirmek ve sabit bir varyansa sahip olmalarını sağlamak mümkündür (Larsen ve Hann, 1987; Soares ve Tome, 2002; Lopez Sanchez vd., 2003; Sharma ve Zhang, 2004; Mısır, 2010).

İlk geliştirilmiş çap-boy modeli Wiedemann (1936) tarafından geliştirilmiştir. Günümüze kadar farklı yer ve türler için pek çok geliştirilmiş çap-boy modeli geliştirilmiştir. Modeller geliştirilirken aynı yaşlı meşçereler, değişik yaşlı meşçereler, saf ve karışık ormanlar ve doğal veya plantasyonlar için geliştirilmiş modeller olarak ayrılabilir.

Bu çalışmada Bilecik yöresinde bulunan karışık meşe türleri için çap-boy ilişkilerinin modellenmesi amacıyla, farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve literatürde sıklıkla kullanılan 20 farklı geliştirilmiş çap-boy modeli test edilmiştir. Çalışmamızda kullanılan doğrusal olmayan geliştirilmiş regresyon modelleri Çizelge 3.4’ de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Doğrusal olmayan geliştirilmiş regresyon modelleri

Model No	Model (Yıl)	Denklemler	Denklemler No
GM1	Monness (1982)	$h_{ij} = 1.3 + \left[b_0 * \left(\frac{1}{d_{ij}} - \frac{1}{D_0} \right) + \left(\frac{1}{H_0 - 1.3} \right)^{1/3} \right]^{-3}$	(3.11)
GM2	Cañadas vd. I (1999)	$h_{ij} = 1.3 + (H_0 - 1.3) * \left(\frac{d_{ij}}{D_0} \right)^{b_0}$	(3.12)
GM3	Cañadas vd. II (1999)	$h_{ij} = 1.3 + \frac{d_{ij}}{\frac{d_0}{h_0 - 1.3} + b_0 * (D_0 - d_{ij})}$	(3.13)
GM4	Cañadas vd. III (1999)	$h_{ij} = 1.3 + (H_0 - 1.3) * \frac{1 - e^{b_0 * d_{ij}}}{1 - e^{b_0 * D_0}}$	(3.14)
GM5	Cañadas IV (1999)	$h_{ij} = 1.3 + \left[b_0 * \left(\frac{1}{d_{ij}} - \frac{1}{D_0} \right) + \left(\frac{1}{H_0 - 1.3} \right)^{1/2} \right]^{-2}$	(3.15)
GM6	Gaffrey (1988)	$h_{ij} = 1.3 + (H_0 - 1.3) * e^{b_0 * \left(1 - \frac{d_{ij}}{D_0} \right) + b_1 * \left(\frac{1}{d_{ij}} - \frac{1}{D_0} \right)}$	(3.16)
GM7	Sloboda vd. (1993)	$h_{ij} = 1.3 + (H_m - 1.3) * e^{\left(b_0 * \left(1 - \frac{d_{ij}}{D_0} \right) \right) * e^{b_1 * \left(\frac{d_{ij}}{D_0} - \frac{1}{d_{ij}} \right)}}$	(3.17)
GM8	Harrison vd. (1986)	$h_{ij} = H_0 * \left(1 + b_0 * e^{b_1 * H_0} \right) * \left(1 - e^{-\frac{b_2 * d_{ij}}{H_0}} \right)$	(3.18)
GM9	Castedo vd. (2001)	$h_{ij} = 1.3 + \frac{b_0 * H_0^{b_1} * (H_0 - 1.3)}{\left(\left \frac{D_0 - d_{ij}}{d_{ij}} \right \right)^{b_2}}$	(3.19)
GM10	Pienaar (1991)	$h_{ij} = b_0 * H_0 * \left(1 - e^{-\frac{b_1 * d_{ij}}{D_0}} \right)^{b_2}$	(3.20)

Çizelge 3.4. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş regresyon modelleri (Devam)

Model No	Model (Yıl)	Denklemler	Denklem No
GM11	Hui ve Gadow (1993)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * H_0^{b_1} * d_{ij}^{b_2 * H_0^{b_3}}$	(3.21)
GM12	Mirkovich (1958)	$h_{ij} = 1.3 + (b_0 + b_1 * H_0 - b_2 * d_g) * e^{-b_3/d_{ij}}$	(3.22)
GM13	Schröder ve Alvarez I (2001)	$h_{ij} = 1.3 + (b_0 + b_1 * H_0 - b_2 * d_g) * e^{-b_3/\sqrt{d_{ij}}}$	(3.23)
GM14	Cox II Mod 1 (1994)	$h_{ij} = b_0 + b_1 * H_m + b_2 * d_g^{0.95} + b_3 * e^{-0.08*d} + H_m^3 * b_4 e^{-0.08*d_{ij}} + b_5 * d_g^3 * e^{-0.08*d_{ij}}$	(3.24)
GM15	Schröder ve Alvarez II (2001)	$h_{ij} = 1.3 + (b_0 + b_1 * H_0 - b_2 * d_g + b_3 * G) * e^{-b_4/\sqrt{d_{ij}}}$	(3.25)
GM16	Schnute (1981)	$h_{ij} = (1.3^{b_1} + (H_0^{b_1} - 1.3^{b_1}) * \frac{(1 - e^{-(b_0 - d_{ij})})}{(1 - e^{-(b_0 * d_{ij})})^{1/b_1}}$	(3.26)
GM17	Sharma ve Zhang I (2004)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * G^{b_1} * (1 - e^{-(b_2 * d_{ij})})$	(3.27)
GM18	Sharma ve Zhang II (2004)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * G^{b_1} * (1 - e^{-(b_2 * d_{ij})})^{b_3}$	(3.28)
GM19	Sharma ve Parton (2007)	$h_{ij} = 1.3 + b_0 * H_0^{b_1} \left(1 - e \left(-b_2 \left(\frac{N}{G} \right)^{b_3} * d_{ij} \right) \right)^{b_4}$	(3.29)
GM20	Krumland ve Wessel (1988)	$h_{ij} = H_0 * e^{-b_0 [d_{ij}^{-(b_1+b_2*H_0)} - D_0^{-(b_1+b_2*H_0)}]}$	(3.30)

h_{ij} = ağaç boyu (m), d_{ij} = göğüs çapı (cm), d_g = göğüs yüzeyi orta ağaç çapı (cm), G = meşçere göğüs yüzeyi (m^2/ha), e = hata, b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 ve b_5 model parametrelerini, D_0 ve H_0 sırayla dominant çap (cm) ve boyu (m), H_m = Orta boy (m) ve N (ağaç sayısı/hektar).

Bu modellerde yer alan değişkenlerden D_0 dominant ağaç çapını (hektardaki en kalın çaplı 100 ağacın çap ortalaması), H_0 dominant ağaç boyunu (hektardaki en kalın çaplı 100 ağacın boy ortalaması), G meşçere göğüs yüzeyi (ağaçların göğüs yüzeyi toplamlarının, örnek alanın hektara çevirme katsayısı ile çarpılması), N ise hektardaki ağaç sayısını (örnek alandaki ağaç sayısının, hektara çevirme katsayısı ile çarpılması), H_m orta boyu (meşçeredeki ortalama ağaç boyu) ve d_g göğüs yüzeyi orta ağaç çapını ifade etmektedir. Çalışmada kullanılan doğrusal olmayan genelleştirilmiş modeller seçilen bazı ölçüt değerler yardımı ile performansları karşılaştırılmıştır.

3.2.3. Karışık etkili modelleme yöntemi (NLME)

Regresyon modelleri genellikle toplum temelli ve birey temelli modeller olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Basit regresyon modelleri en küçük kareler yöntemiyle toplum ortalamalarına ilişkin parametreleri tahmin etmektedir. Birey temelli modeller ise, toplum içindeki bireylere özel tahminler için de kullanılmakta ve tahminlerde daha

yüksek doğruluk ortaya koymaktadırlar. Bu amaçla da doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılmaktadır.

Karışık-etkili modeller içerdikleri sabit etkili parametreler yardımı ile bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki ilişkileri toplum düzeyinde hesaba katarken, tesadüfi etkili parametreler örnekleme birimi ile ilgili varyasyonu hesaba katmaktadır. Karışık etkili modeller zamansal ve mekânsal korelasyonu modelin tesadüfi etkilerinin kovaryans yapısını tanımlayarak ve parametre tahmini esnasında bu yapıyı kullanarak tanımlayabilmektedir (Trincado vd., 2007; West vd., 2007; Lhotka ve Loewenstein, 2008; Huang vd., 2009; Gomez-Garcia vd., 2013; Bronisz ve Mehtatalo, 2020). Karışık-etkili modellerin diğer önemli bir avantajı ise, ağaç ya da meşcere düzeyindeki eş değişkenlerden ve birkaç ağaç boyunu içeren küçük bir alt örnekten tesadüfi etkilerin tahmini ile farklı bir yer için kalibre edilebiliyor olmasıdır (Ademe vd., 2008; Crecente-Campo vd., 2010; Özçelik vd., 2018). Karışık-etkili modelleme kapsamında, herhangi bir çap-boy denkleminin bütün parametreleri sabit etkili olarak ifade edilebilmekte (bütün ağaçlar için genel) ve bütün parametreler ya da bazıları ilave ekstra tesadüfi bileşenler de içerebilmektedir ki tesadüfi etkili parametreler her örnek alan için özeldir.

Calama ve Montero (2004) çap-boy ilişkilerinin karışık etkili modeller yardımı ile modellenmesine hakkında detaylı bilgiler vermişlerdir. Bununla birlikte Hall ve Bailey (2001) ve Özçelik vd. (2018) doğrusal olmayan karışık etkili modeller ve bu modellerin ormancılık çalışmalarında kullanımı hakkında bilgiler paylaşmıştır. Karışık etkili modellere ilişkin genel bir bilgi vermek gerekirse; karışık modelleme tekniği, bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasındaki istatistik ilişkinin açıklanmasının yanında, özellikle tekrarlı ölçümler ya da gruplar (çoğunlukla örnek alanlar) arasındaki farklılığı ifade eden varyans-kovaryans matris yapısının modellemesine de imkân tanımaktadır. Karışık modellerde model yapısı aşağıda denklem 3.31' de verilmiştir.

$$y_i = f(b, u_i, d_i) + \varepsilon_i \quad (3.31)$$

Burada $\mathbf{y}_i = [h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{in_i}]^T$, $\mathbf{d}_i = [d_{i1}, d_{i2}, d_{i3}, \dots, d_{in_i}]^T$, $\boldsymbol{\varepsilon}_i = [\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \dots, \varepsilon_{in_i}]^T$, n_i i . örnek alan için boy ölçümlerinin sayısını, \mathbf{b} ve \mathbf{u}_i sırasıyla sabit-etkili ve tesadüfi-etkili parametreler için sütun vektörlerini ifade etmektedir. Buna ilişkin varsayımlar ise: $\boldsymbol{\varepsilon}_i \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$, ve $\mathbf{u}_i \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{D})$ şeklindedir.

Burada, \mathbf{R} ve \mathbf{D} çapraz matrislerdir ve $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ ve \mathbf{u}_i 'nin bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Yukarıda verilen 3.31 numaralı denklemin sabit-ekili ve tesadüfi etkili parametrelerinin tahmini için SAS yazılımındaki NLMIXED prosedürü kullanılmıştır. i . örnek alanda belirli sayıda ağaç kullanılarak bir alt örnekleme yapıldığında, ilgili örnek alan için tesadüfi parametreler \mathbf{u}_i Taylor serisinin birinci dereceden genişletilmesi ile hesaplanabilmektedir (Meng vd., 2009).

$$\hat{\mathbf{u}}_i^{k+1} = \hat{\mathbf{D}}\mathbf{Z}_i^T (\mathbf{Z}_i \hat{\mathbf{D}}\mathbf{Z}_i^T + \hat{\mathbf{R}})^{-1} [y_i - f(\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{u}}_i^k, \mathbf{d}_i) + \mathbf{Z}_i \hat{\mathbf{u}}_i^k] \quad (3.32)$$

Bu formülde, $\hat{\mathbf{u}}_i^k$ k . iterasyonda i . örnek alan için tesadüfi parametrelerin tahminini, $\hat{\mathbf{D}}$, \mathbf{D} 'nin tahminini, $\mathbf{Z}_i = \left. \frac{\partial f(\mathbf{b}, \mathbf{u}_i, \mathbf{d}_i)}{\partial \mathbf{u}_i} \right|_{\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{u}}_i}$, \mathbf{u}_i için varyans-kovaryans matrisini, \mathbf{R} , $\boldsymbol{\varepsilon}_i$ için varyans-kovaryans matrisini, \mathbf{y}_i ölçülen ağaç boyları için $m \times 1$ boyutlarındaki vektörü ve m $h - d$ eğrisini kalibre etmek için ölçülen ağaçların sayısını ifade etmektedir. \mathbf{u}_i 'nin tahmini için bir tekrarlı bir işleme ihtiyaç duyulmaktadır. Bir boş başlangıç değeri ($\hat{\mathbf{u}}_i^0 = \mathbf{0}$) kullanarak, iki ardışık yineleme arasındaki mutlak fark önceden belirlenmiş bir tolerans sınırından daha küçük olana kadar denklem tekrar tekrar güncellenecektir. Sonuç tesadüfi etkiler için teorik doğrusal en iyi sapsız tahmin edici (EBLUB)'nin bir yaklaşımıdır. Doğrusal olmayan karışık etkili modelleme ile ilgili ayrıntılı bilgiler; Calama ve Montero (2004), Trincado vd. (2007), Huang vd. (2009), Özçelik vd. (2018) ve Bronisz ve Mehtatalo (2020)'de bulunabilir.

3.2.4. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler

Çalışma kapsamında yukarıda da genel olarak anlatılmaya çalışıldığı gibi sırasıyla ONLS ve NLME regresyon yöntemleri kullanılarak doğrusal olmayan basit regresyon modeller ve doğrusal olmayan geliştirilmiş çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Test edilen yöntemlerin tahmin performanslarını karşılaştırmak amacıyla ise beş farklı başarı ölçütü kullanılmıştır. Bu kriterler sırayla; ortalama mutlak hata (MAD),

ortalama hata (MD), hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), uyum indeksi (FI) ve Akaike Bilgi Ölçütüdür (AIC). Karşılaştırmalarda MAD, MD, RMSE ve AIC için en düşük değere sahip olan, FI için ise en yüksek değere sahip olan model en başarılı model olarak belirlenmiştir. Çalışmadaki kullanılan ölçüt değerlere ilişkin formüller Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Model performansları değerlendirme kriterleri

Ortalama hata	$MD = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_{ij})}{\sum_{i=1}^n n_i}$	(3.33)
Ortalama mutlak hata	$MAD = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} - \hat{y}_{ij} }{\sum_{i=1}^n n_i}$	(3.34)
Hata kareler ortalamasının karekök	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$	(3.35)
Uyum İndeksi	$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_{ij})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}$	(3.36)
Akaike Bilgi Ölçütü	$AIC = n \ln(RMSE) + 2p$	(3.37)

Burada, n örnek alan sayısını, n_i i . örnek alanda ölçülen ağaç sayısını, \bar{y}_i ise i . örnek alan için ölçülen tüm boy değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Yukarıda performans ölçütlerinde verilen y_i ve \hat{y}_i ölçülen ve tahmin edilen değerleri temsil etmektedir. \ln doğal logaritmayı, p ise modeldeki parametre sayısını ifade etmektedir.

3.3. Model Nisbi Sıralarının Belirlenmesi

Çalışmada en başarılı modelin seçimi amacıyla Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama sistemi kullanılmıştır. Bu yeni sistem ile geleneksel sıralama yönteminde bulunan modellerin biri ile olan benzerlikleri, yakınlıkları bilinmektedir. Geleneksel sıralama yöntemlerinde modeller 1’den N’ e kadar sıralanmakta ve modellerin birbiri ile başarı durumları ve pozisyonları tam olarak ortaya konamamaktadır. Bu sebeple Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen, modellerin birbirine göre durumlarını tam olarak ortaya koyabilen yeni bir sıralama yöntemi geliştirilmiştir. Bu yeni sistemde i . modelin nispi sırası aşağıdaki denklem 3.38 ile bulunabilmektedir:

$$R_i = 1 + \frac{(m-1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (3.38)$$

Burada R_i i . metodun nisbi sırasını, S_i i . metot tarafından üretilen uyum istatistiklerinin başarısını, S_{min} S_i 'nin minimum değerini ve S_{max} S_i 'nin maksimum değerini ifade etmektedir. Bu sıralama yöntemi ile basit, geliştirilmiş ve karışık etkili modellerin her birinde en iyi modeli ve bu modele en yakın performansı gösteren modelleri görmemizi sağlamıştır. Poudel ve Cao (2013) incelendiği taktirde nisbi sıralama ile ilgili daha detaylı bilgi elde edinebilir.



4. BULGULAR

4.1. Doğrusal Olmayan Basit Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular

Karışık doğal meşe meşçereleri için en başarılı doğrusal olmayan basit regresyon modelinin belirlenmesi amacıyla 10 farklı model seçilmiş ve test edilmiştir. Tüm modeller için parametre tahminleri en küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1’de bu çalışma kapsamında değerlendirilen on farklı doğrusal olmayan çap-boy modeli için elde edilen parametre tahminleri verilmiştir. Test edilen bütün modeller için model parametreleri 0.001 önem düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Doğrusal olmayan basit modellere ilişkin parametre tahminleri

Modeller	Parametreler		
	b_0	b_1	b_2
M1	39.0312	0.0510	1.8630
M2	34.3000	0.0060	1.5773
M3	67.5363	-36.7300	6.5200
M4	46.5290	0.0036	1.6857
M5	4.6741	-9.7490	-0.5562
M6	107.1455	9.7488	0.5562
M7	35.2536	3.3584	0.0760
M8	0.0970	36.3266	0.0728
M9	19.0729	420.7861	-
M10	107.2802	9.7450	-0.5558

Burada modeller arasında M9 modeli iki parametrelilik kalan dokuz model ise üç parametrelilik model olarak yer almaktadır.

İkinci aşamada geliştirilen doğrusal olmayan basit çap-boy modellerinin performanslarının karşılaştırılması ve veri için en başarılı model formunun ortaya konması amacıyla MAD, RMSE, MD, FI ve AIC değerleri hesaplanmış ve her bir model için Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama değerleri belirlenmiştir. Çizelge 4.2’de test edilen modellere ilişkin ölçüt değerleri verilmiştir. Çizelge 4.2’de her bir ölçüt değeri için en başarılı sonucu üreten modelin değeri koyu renkli ve altı çizili olarak verilmiştir. İlk bakışta modeller arasında en düşük MAD,

RMSE, AIC ve en yüksek FI değeri ile M7 modelinin başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

Çizelge 4.2. Doğrusal olmayan basit modellerin performans değerleri

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC
M1	2.2140	2.9008	0.0334	0.8575	2532.2
M2	2.2023	2.8860	0.0437	0.8590	2520.1
M3	2.2193	2.9132	0.0137	0.8563	2542.2
M4	2.2157	2.9032	0.0379	0.8573	2534.1
M5	2.2449	2.9383	0.0237	0.8538	2562.6
M6	2.2450	2.9383	0.0237	0.8538	2562.6
M7	2.1727	2.8584	0.0208	0.8617	2497.2
M8	2.1961	2.8794	0.0548	0.8596	2514.6
M9	2.3960	3.1775	0.1170	0.8208	2782.9
M10	2.3437	3.0856	0.0237	0.8310	2712.5

Çizelge 4.3'te ise beş ölçüt değeri kullanılarak elde edilen model nisbi sıra değerleri gösterilmiştir. Model sayısı fazla olması ve model performanslarının birbirine yakınlığını görmek için nisbi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Poudel ve Cao (2013) tarafından önerilen nisbi sıralama yönteminde tüm modeller geleneksel sıralamada olduğu gibi yine model sayısına bağlı olarak en başarılı model ilk sırada en başarısız model ise son sırada yer alırken diğer modeller nisbi sıralama değerine bağlı olarak sıralanmaktadır. Çizelge 4.3'deki model nisbi sıra değerleri incelendiğinde model geliştirme verile için en başarılı modelin M7 olduğu en başarısız modelin ise iki parametreleri M9 olduğu görülmektedir. M7 model performansına yakın sırayla M2, M3, M8 ve M1 modellerinin izlediği görülmüştür. Ancak bu modeller arasında boy tahmin performansı açısından nisbi sıra değerleri bakımından önemli farklılıkların olmadığı da söylenebilir.

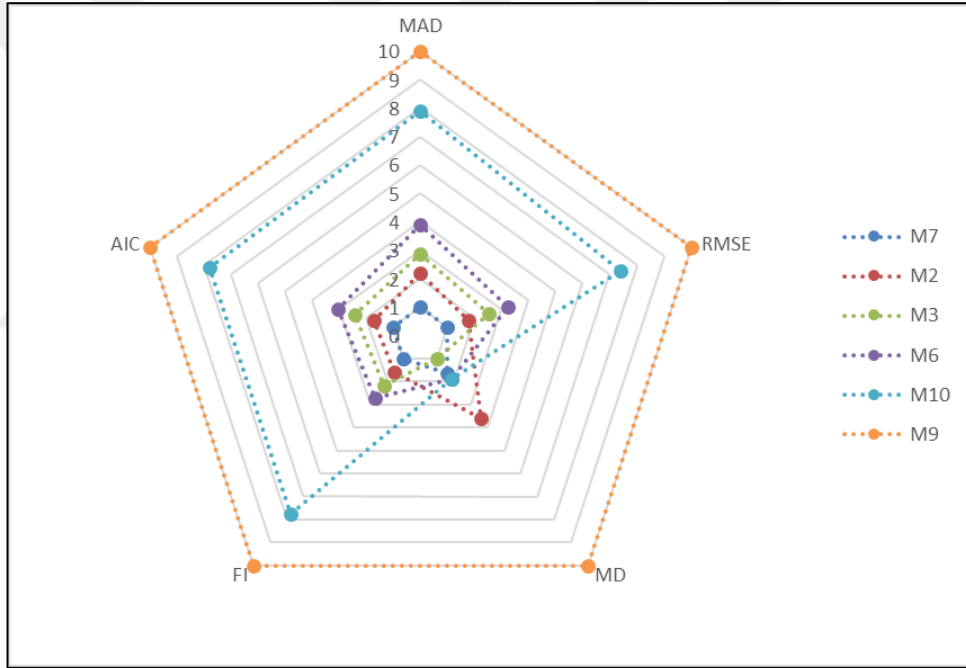
Çizelge 4.3. Doğrusal olmayan basit modeller için nisbi sıralama

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC	TOPLAM	GENEL
M1	2.665	2.196	2.716	1.924	2.103	11.604	2.214
M2	2.193	1.778	3.613	1.594	1.721	10.901	2.071
M3	2.878	2.546	1.000	2.188	2.418	11.030	2.097
M4	2.733	2.264	3.108	1.968	2.162	12.236	2.342

Çizelge 4.3. Doğrusal olmayan basit modeller için nisbi sıralama (Devam)

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC	TOPLAM	GENEL
M5	3.910	3.254	1.871	2.738	3.060	14.833	2.869
M6	3.914	3.254	1.871	2.738	3.060	14.837	2.869
M7	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	1.618	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	5.619	<u>1.000</u>
M8	1.943	1.592	4.580	1.462	1.548	11.126	2.117
M9	<u>10.000</u>	<u>10.000</u>	<u>10.000</u>	<u>10.000</u>	<u>10.000</u>	50.000	<u>10.000</u>
M10	7.892	7.408	1.871	7.756	7.782	32.709	6.494

Model performansları açısından Bilecik yöresinde meşe türleri için en başarısız tahminleri yapan basit modeller iki parametrelili M9, üç parametrelili M10 ve M6 modelleri olmuştur.



Şekil 4.1. Doğrusal olmayan basit modellerin radar grafiği

Şekil 4.1'de ise test verileri için çalışmada kullanılan çap-boy modellerinin boy tahminleri açısından grafiği verilmiştir. Bu grafikte her model bir beşgen ile temsil edilmiştir ve grafikte en küçük beşgene sahip model en başarılı, en büyük beşgene sahip model ise en başarısız model olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 4.1'de en başarılı olarak görülen modeller sırayla M7, M2 ve M3 en içte ve en küçük beşgene sahip modeller iken, en başarısız modeller olarak karşımıza çıkan M6, M10 ve M9 ise en büyük beşgene sahip ve en dışta yer almıştır. Bu durum Çizelge 4.3'de verilen model nisbi sıralama sonuçları ile de uyumludur.

Özçelik vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada modellere ilişkin elde edilen sonuçlar ile Bilecik yöresi için denenen basit modellerin başarı performansları arasında benzerlikler bulunmaktadır. Ancak Zhang (1997) tarafından yapılan çalışmada, Chapman-Richards ve Schnute modelleri diğer modellerden daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bronisz ve Mehtälato (2020) tarafından gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise bu çalışmada başarısız sonuçlar üreten modellerden biri olan Lundqvist modelinin en başarılı model olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçların farklı araştırmacılar tarafından bulunan sonuçlarla benzer olması ya da farklılık göstermesi, model formundan ziyade çalışılan ağaç türüne, meşçerenin büyüme ve gelişme özellikleri ile yöresel yetişme ortamı şartları ve ormancılık faaliyetlerinin birçoğunu kapsayan geniş bir kitle ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Huang vd. (1999) ve Zhang vd. (2002) tarafından da belirtildiği gibi çap-boy ilişkileri bölgesel şartlara göre büyük değişkenlikler gösterebilmektedir.

4.2. Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular

Bu çalışma kapsamında literatürde yer alan ve birçok çalışmada kullanılmış olan bazı doğrusal olmayan genelleştirilmiş modeller seçilmiş ve değerlendirilmiştir. Seçilen modeller incelendiğinde modellerin genel olarak 1-5 arasında değişen sayıda farklı parametreye sahip oldukları görülmektedir. Çalışmada 20 farklı genelleştirilmiş çap-boy modelinin test edilmiş ve bu modellere ilişkin parametre tahminleri Çizelge 4.4’de verilmiştir. Geliştirilen modellerin parametre tahminlerinin 0.001 düzeyinde anlamlı oldukları görülmüştür.

Çizelge 4.4. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş modellere ilişkin parametre tahminleri

Modeller	Parametreler				
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
GM1	2.3156				
GM2	0.7854				
GM3	-0.0101				
GM4	-0.0184				
GM5	2.1270				
GM6	0.3239	-5.3319			

Çizelge 4.4. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş modellere ilişkin parametre tahminleri
(Devam)

Modeller	Parametreler				
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
GM7	-0.8099	-0.0673			
GM8	0.0652	0.0309	1.3596		
GM9	0.4539	0.1362	0.0786		
GM10	1.3872	0.9528	0.5397		
GM11	0.0923	1.1384	1.3928	-0.2987	
GM12	21.7415	1.2347	0.4167	12.0680	
GM13	21.7341	1.2346	0.4165	24.1341	
GM14	3.5871	1.1090	-0.1956	-10.9279	-0.0015
GM15	21.2930	1.1679	0.4015	0.0150	24.0632
GM16	0.0401	0.6237			
GM17	24.8026	0.2113	0.0153		
GM18	15.5642	0.1936	0.0482	1.5780	
GM19	1.5247	0.9068	0.0236	0.5422	1.3339
GM20	-7.8630	-0.0158			

Test edilen modellerin model test verileri için başarı ölçütleri hesaplanmış ve Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge 4.5’de her bir ölçüt değeri için en başarılı model koyu ve altı çizili olarak gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde en başarılı genelleştirilmiş çap-boy modelinin GM19 modelinin olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Doğrusal olmayan genelleştirilmiş modellerin performans değerleri

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC
GM1	1.8851	2.4840	0.3604	0.8951	4258
GM2	1.9479	2.5637	0.5322	0.8882	4406
GM3	1.8974	2.5045	0.4945	0.8933	4297
GM4	1.8916	2.4957	0.5241	0.8941	4280
GM5	1.8916	2.4957	0.5241	0.8941	4280
GM6	1.8916	2.4962	0.5241	0.8941	4283
GM7	1.9102	2.4903	0.1851	0.8946	4272
GM8	1.8619	2.4005	0.1138	0.9021	4103
GM9	2.0153	2.5919	0.0747	0.8858	4461
GM10	1.9496	2.4890	0.2049	0.8947	4272

Çizelge 4.5. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modellerin performans değerleri (Devam)

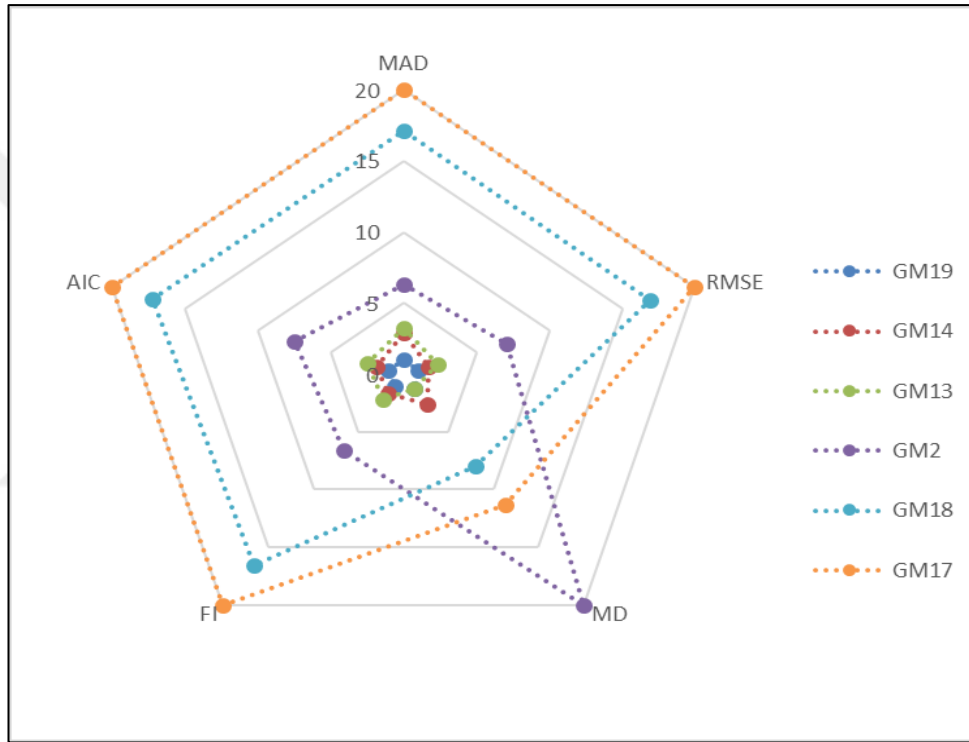
Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC
GM11	1.8566	2.3970	0.0867	0.9024	4098
GM12	1.8638	2.4077	0.0155	0.9015	4119
GM13	1.8638	2.4077	0.0156	0.9015	4118
GM14	1.8527	2.3878	0.0541	0.9032	4082
GM15	1.8711	2.4190	0.0093	0.9007	4142
GM16	1.8636	2.4669	0.3595	0.8965	4228
GM17	2.3327	2.9926	0.2939	0.8478	5134
GM18	2.2512	2.8898	0.2006	0.8582	4972
GM19	1.8000	2.3631	0.0162	0.9052	4033
GM20	1.8480	2.4446	0.3632	0.8984	4188

Çizelge 4.6’da ise bu ölçüt değerleri kullanılarak her bir model için elde edilen nisbi sıra değerleri verilmiştir. Nisbi sıra değerleri incelendiğinde en başarılı modelin GM19 modeli olduğu, bu modeli sırasıyla GM14 ve GM13 modellerinin izlediği görülmektedir. En başarısız geliştirilmiş çap boy modelleri ise GM17, GM18 ve GM2 olarak sıralanmaktadır.

Çizelge 4.6. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modeller için nisbi sıralama

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC	TOPLAM	GENEL
GM1	4.035	4.649	13.757	4.343	4.883	31.667	6.830
GM2	6.275	7.055	<u>20.000</u>	6.627	7.437	47.393	10.300
GM3	4.474	5.268	18.630	4.939	5.556	38.866	8.419
GM4	4.267	5.002	19.705	4.674	5.262	38.9117	8.428
GM5	4.267	5.002	19.705	4.674	5.262	38.9117	8.428
GM6	4.267	5.017	19.705	4.674	5.314	38.978	8.443
GM7	4.931	4.839	7.387	4.509	5.124	26.790	5.753
GM8	3.208	2.129	4.797	2.026	2.208	14.367	3.012
GM9	8.679	7.906	3.376	7.422	8.386	35.768	7.735
GM10	6.336	4.800	8.107	4.476	5.124	28.843	6.206
GM11	3.019	2.023	3.812	1.927	2.122	12.902	2.688
GM12	3.276	2.346	1.225	2.225	2.484	11.555	2.391
GM13	3.276	2.346	1.228	2.225	2.467	11.542	2.388
GM14	2.880	1.746	2.627	1.662	1.846	10.760	2.216
GM15	3.536	2.687	1.000	2.490	2.881	12.593	2.620
GM16	3.268	4.133	13.724	3.880	4.365	29.371	6.323
GM17	<u>20.000</u>	<u>20.000</u>	11.341	<u>20.000</u>	<u>20.000</u>	91.341	<u>20.000</u>
GM18	17.093	16.897	7.951	16.557	17.204	75.703	16.548
GM19	1.000	1.000	1.250	1.000	1.000	5.250	1.000
GM20	2.712	3.460	13.859	3.251	3.675	26.956	5.790

Modellerin performanslarına ilişkin radar grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6’da verilen sonuçlarla uyumludur. Radar grafiklerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde hem basit çap-boy modelleri hem de geliştirilmiş çap-boy modelleri için en başarılı modellerin diğer modellere göre daha yüksek ortalama hata ürettikleri görülmektedir. Ancak pek çok araştırmacı tarafından da ifade edildiği gibi ortalama hata (MD) modellerin başarı sırasının belirlenmesinde tek başına kullanılabilecek bir ölçüt değildir. Çünkü boy tahminlerinde ortaya çıkabilecek eksi (-) ve artı (+) yöndeki farkların birbirini ortadan kaldırması mümkün olmaktadır.



Şekil 4.2. Doğrusal olmayan geliştirilmiş modellerin radar grafiği

4.3. Yöreye ve Türe Özgü Doğrusal Olmayan Geliştirilmiş Çap-Boy Modellerinin Oluşturulması

Çalışmada Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modelinin geliştirilmesinde en başarılı M7 modeli olduğu ortaya konmuştur. Çalışmanın bu bölümünde ise bu model yardımı ile ilgili yöre için geliştirilmiş çap-boy modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla ilgili model formu her örnek alan için ayrı ayrı çözülmüş ve her örnek alan için parametre tahminleri elde edilmiştir. Yine her örnek alan için hesaplanan göğüs yüzeyi (G), hektardaki ağaç sayısı (N), Dominant çap (D_0) ve Dominant boy (H_0) gibi meşçere

özellikleri ile her bir örnek alan için tahmin edilen parametreler arasındaki doğrusal ya da doğrusal olmayan ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda; b_1 parametresi ile dominant çap ve dominant boy arasında doğrusal ilişkiler olduğu görülmüştür. Bu kapsamda üç farklı alternatif değerlendirilmiştir. Önce sadece b_1 parametresine D_0 , daha sonra H_0 ve her iki değişkenin birlikte eklenmiş yapıları ile değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada test edilmesi düşünülen geliştirilmiş doğrusal olmayan çap-boy model formları aşağıda Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Gompertz modeline meşçere değişkenleri eklenerek oluşturulan geliştirilmiş model formu seçimi

Model No	Değişken	Denklemler	Denklem No
BGM1	D_0	$h = 1.3 + (b_0 + b_1 * D_0) * \exp(-b_2 * \exp(-b_3 * d))$	(4.1)
BGM2	H_0	$h = 1.3 + (b_0 + b_1 * H_0) * \exp(-b_2 * \exp(-b_3 * d))$	(4.2)
BGM3	D_0H_0	$h = 1.3 + (b_0 + b_1 * D_0) + (b_4 + b_5 * H_0) * \exp(-b_2 * \exp(-b_3 * d))$	(4.3)

Çizelge 4.7’de verilen geliştirilmiş modellere ilişkin parametre tahminleri ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Doğrusal olmayan geliştirilmiş Gompertz model seçimi

Parametreler	Değişkenler		
	D_0	H_0	D_0H_0
b_0	17.5584	9.3212	8.0541
b_1	0.3493	0.6610	-0.2083
b_2	2.6883	1.9443	-0.1704
b_3	0.0874	0.0835	0.9389
b_4	-	-	3.8937
b_5	-	-	0.1114

Bu modellerde D_0 örnek alanın dominant çapını, H_0 ise dominant boyunu temsil etmektedir. Geliştirilen bu modellere ilişkin ölçüt değerleri ise Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu çizelgenin incelenmesinde de görüleceği gibi modellerin ölçüt değerleri bakımından başarısı değişiklik göstermektedir.

Çizelge 4.9. D_0 , H_0 ve D_0H_0 eklenmiş modellerin performans değerleri

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC
BGM1	2.868	3.648	1.158	0.758	<u>1614.2</u>
BGM2	2.200	2.847	0.004	0.856	2529.5
BGM3	<u>1.896</u>	<u>2.458</u>	<u>0.0009</u>	<u>0.892</u>	2196.8

Bu nedenle hangi modelin daha başarılı olduğunu ortaya koyabilmek için modellerin nisbi sıra değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu tablonun incelenmesinde de görüleceği gibi, test edilen genelleştirilmiş modeller içerisinde en başarılı olan model D_0 ve H_0 değişkenlerinin birlikte eklendiği BGM3 model formu olmuştur.

Çizelge 4.10. Yöreye özgü geliştirilen modeller için nisbi sıralama

Modeller	MAD	RMSE	MD	FI	AIC	GENEL	TOPLAM
BGM1	<u>3.000</u>	<u>3.000</u>	<u>3.000</u>	<u>3.000</u>	<u>1.000</u>	13.000	<u>3.000</u>
BGM2	1.626	1.654	1.005	1.537	3.000	8.822	1.758
BGM3	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	<u>1.000</u>	2.273	6.273	<u>1.000</u>

Bu bulgulara bakıldığı zaman modele sadece dominant boy veya dominant çapın eklenmesi durumunda dominant boy değişkeninin eklendiği formu dominant çap değişkeninin eklendiği formundan daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Modele iki değişken aynı anda eklendiğinde ise en iyi performansı gösterdiği görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında, çalışma kapsamında dominant çap ve dominant boy değişkenlerinin birlikte kullanıldığı genelleştirilmiş modelin bundan sonraki aşamalarda kullanılmasına karar verilmiştir.

4.4. Karışık Etkili Modelle Yöntemine İlişkin Bulgular

Çalışmanın bu bölümünde en başarılı basit ya da temel model olan M7 modeli kullanılarak Bilecik Yöresi için bölüm 4.3'de geliştirilen modelinin karışık-etkili modelleme tekniği kullanılarak tahmin performansının ortaya konmasına çalışılmıştır. Karışık-etkili modelleme tekniği ile çap-boy ilişkilerinin modellenmesinde en önemli iş aşamalarından birisi sabit etkili ve tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun

kararlaştırılmasıdır. Bu kapsamda karışık-etkili modele tekniği kullanılarak çap-boy geliştirilmesi iki aşamada yürütülmüştür. Hem basit M7 modeli hem de yöre için M7 modeli temel alınarak geliştirilen BGM3 genelleştirilmiş modellerin her ikisi de karışık-etkili modelleme yaklaşımı içerisinde değerlendirilmiştir. Her iki model formu içinde (basit ve genelleştirilmiş modeller) ncelikli olarak en uygun sabit etkili ve tesadüfi etkili parametre kombinasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla sadece bir sadece iki ve sırasıyla tüm parametreleri tesadüfi etkili parametre kombinasyonları olmak üzere yedi farklı tesadüfi etkili parametre kombinasyonu test edilmiştir. Bu değerlendirmelere ilişkin olarak ortaya çıkan sonuçlar basit model için sonuçlar izelge 4.11’de, Genelleştirilmiş model için izelge 4.13’ de verilmiştir. Çizelgelerde farklı tesadüfi parametre kombinasyonları için hesaplanan AIC ve BIC değerleri incelendiğinde, temel model için en uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonu tüm parametrelerin tesadüfi etkili olduğu durum olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Karışık etkili doğrusal olmayan basit Gompertz modeli için parametre kombinasyonları

Parametre Kombinasyonu	AIC	BIC
Sabit etkili	6144	6165
b_0	5523	5532
b_1	5498	5506
b_2	5506	5514
b_0b_1	5455	5466
b_0b_2	5543	5555
b_1b_2	5457	5468
$b_0b_1b_2$	5448	5464

Test edilen farklı parametre kombinasyonları sonuçlarına göre Bilecik yöresi karışık meşe meşcereleri için en başarılı parametre kombinasyonuna sahip karışık etkili model aşağıdaki gibi yazılabilmektedir. En düşük AIC ve BIC değerine sahip olan **$b_0b_1b_2$** parametre kombinasyonu ile oluşan modele eklenen u , v ve w tesadüfi etkili parametrelerin olduğu model formu seçilmiştir. Parametrelerin tesadüfi veya sabit etkili formuna karar verildikten sonra oluşturduğumuz doğrusal olmayan basit M7 modelinin karışık etkili yapısı, denklem 4.4’de verilmiştir.

$$h = 1.3 + (b_0 + u) * e^{-(b_1 + v)} * e^{-(b_2 + w)} * d \quad (4.4)$$

Denklem 4.4' de verilen karışık etkili model ve bunu sabit etkili kısmı için parametre tahminleri ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Karışık etkili doğrusal olmayan basit Gompertz modelinin parametre değerleri

Sabit-etkili			Karışık-etkili		
Parametre		S.H	Parametre		S.H
b_0	37.2157	0.9530	b_0	28.6812	2.6911
b_1	3.3379	0.0884	b_1	2.3533	0.1925
b_2	0.0719	0.0029	b_2	0.0725	0.0100
s^2	8.3871	0.3374	s^2	3.9779	0.1665
			u	76.2243	43.6376
			u_v	1.4859	1.7093
			v	0.1981	0.1472
			u_w	-0.2111	0.1117
			v_w	0.0037	0.0093

$b_0, b_1, b_2, s^2, u, u, uv, v, uw, vw$ ve w model parametreleri, S.H Standart hata.

İkinci aşamada ise, yöre için M7 modeli temel alınarak geliştirilen genelleştirilmiş çap-boy modeli için en başarılı tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesine çalışılmıştır. Bu amaçla 4.3 bölümünde ortaya konan genelleştirilmiş model için tüm parametreleri sabit etkili model hariç toplam otuz bir adet kombinasyon test edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.13' de verilmiştir. AIC ve BIC değerleri dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda b_0b_4 kombinasyonunun en düşük ölçüt değerlere sahip olduğu ve en iyi kombinasyon olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.13. Karışık etkili doğrusal olmayan genelleştirilmiş Gompertz modelinin parametre kombinasyonları

Parametre Kombinasyonu	AIC	BIC
Sabit etkili	5531	5561
b_0	5429	5440
b_1	5434	5445
b_2	5434	5445
b_3	5389	5400
b_4	5411	5423
b_0b_1	5491	5505

Çizelge 4.13. Karışık etkili doğrusal olmayan genelleştirilmiş Gompertz modelinin parametre kombinasyonları (Devam)

Parametre	AIC	BIC
b_0b_2	5427	5442
b_0b_3	5354	5369
b_0b_4	5354	5368
b_1b_2	5751	5765
b_1b_3	5370	5385
b_1b_4	5380	5395
b_2b_3	5369	5383
b_2b_4	5377	5392
b_3b_4	-	-
$b_0b_1b_2$	5438	5457
$b_0b_1b_3$	5919	5939
$b_0b_1b_4$	5429	5448
$b_0b_2b_3$	5351	5371
$b_0b_2b_4$	-	-
$b_0b_3b_4$	5354	5373
$b_1b_2b_3$	5831	5851
$b_1b_2b_4$	5564	5583
$b_1b_3b_4$	5857	5877
$b_2b_3b_4$	5542	5562
$b_0b_1b_2b_3$	5583	5608
$b_0b_1b_2b_4$	5552	5578
$b_0b_1b_3b_4$	5584	5610
$b_0b_2b_3b_4$	5584	5610
$b_1b_2b_3b_4$	5575	5601
$b_0b_1b_2b_3b_4$	5595	5629

Parametre kombinasyonları sırasında çözülemeyen iki kombinasyon dışında kalan bütün kombinasyonlar başarılı bir şekilde çözümlenmiştir. Böylelikle doğrusal olmayan karışık etkili genelleştirilmiş modeli, denklem 4.5' de verilmiştir.

$$h = 1.3 + ((b_0 + u) + b_1 * D_0 + b_2 * H_0) * \exp(-(b_3) * \exp(-b_4 + v) * d)) \quad (4.5)$$

Çizelge 4.14' de ise Bilecik yöresi karışık meşe türleri için karışık etkili doğrusal olmayan genelleştirilmiş modelin parametre tahminleri ve bunlara ilişkin standart hata değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.14. Karışık etkili doğrusal olmayan genelleştirilmiş Gompertz modelinin parametre değerleri

Sabit-etkili			Karışık-etkili		
Parametre	S.H		Parametre	S.H	
b_0	12.5831	0.9387	b_0	9.5592	0.8299
b_1	-0.3481	0.0439	b_1	-0.2824	0.0785
b_2	1.1336	0.0649	b_2	0.9771	0.0870
b_3	1.8668	0.0748	b_3	2.0443	0.1061
b_4	0.0589	0.0038	b_4	0.0871	0.0034
s^2	5.0883	0.2042	s^2	4.005	0.1656
			u	31.6578	4.2295
			uv	-0.2323	0.0159
			v	0.0017	0.0003

4.5. Geliştirilen Basit ve Genelleştirilmiş Karışık Etkili Modellerin Kalibrasyonu

Karışık etkili modelleme yönteminin araştırmacılara sunduğu en önemli özelliklerden birisi modelin kalibrasyonuna imkân vermesidir. Bu işlem sayesinde modele, çalışmada kullanılan örnek alanlarda bulunan belirli sayıda ağacın çap ve boy verileri eklenerek modelin performansını artırılması mümkün olabilmektedir. Yapılan pek çok çalışmada kalibre edilmiş modeller ile daha tutarlı ve doğru boy tahminlerinin yapılabildiği belirtilmiştir (Calama ve Montero, 2006; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009a; Cao ve Wang, 2011; Gomez-Garcia vd., 2016). Bu işlem ile birlikte model performansının eklenen ağaç sayısı ile doğru orantılı olarak olumlu yönde arttığı, bununla birlikte envanter maliyetleri de dikkate alındığında kalibrasyon için kullanılacak ağaç sayısının belirli bir düzeyde tutulması gerektiği de ifade edilmektedir. Doğrusal olmayan karışık etkili modellerde, modele eklenecek örnek ağaç sayısı hakkında birçok farklı görüş bulunmaktadır. Örneğin Calama ve Montero (2004) kalibrasyon için 4 ağacın kullanılmasını, Trincado vd. (2007) ise 3 ağacın yeterli olacağını ifade etmektedir. Huang vd. (2009) 1 ile 9 ağaç aralığında bir ağacın, Temesgen vd. (2008) ise 1 ile 15 ağaç aralığında bir ağacın uygun olabileceğini bildirmişlerdir. Lhotka ve Loewenstein (2008) tarafından yapılan çalışmada ise, kalibrasyon için kullanılan örnek ağaç sayısının artmasına bağlı olarak modelin tahmin performansının iyileştiği ancak bu iyileşmenin 3 ağaçtan sonra çok anlamlı olmadığı ifade edilmiştir. Özçelik vd. (2018) tarafından sedir ve kızılçam ağaç türleri için yapılan çalışmada hem NLME hem de QR (Quantile Regresyon) yöntemleri

kullanılarak yapılan kalibrasyonda her örnek alandan tesadüfi seçilen 1 ile 10 arasında değişen sayıda ağaç kullanılmış ancak envanter maliyetleri açısından kalibrasyon için en uygun örnek ağaç sayısının 4 olduğuna karar vermiştir. Bu çalışmada doğrusal olmayan basit ve geliştirilmiş karışık etkili modellere, tesadüfi olarak her örnek alandan seçilen 1, 2, 3, 4 ve 5 ağaç modelin kalibrasyonu amacıyla seçilmiştir. Basit ve geliştirilmiş modellerin kalibrasyon sonucunda ortaya çıkan model performansları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Kalibrasyon için örnek alandan seçilen farklı sayıdaki ağaçlar için MD, MAD, RMSE ve FI ölçüt değerler Çizelge 4.15’de görülmektedir.

Model kalibrasyonu için birçok farklı yaklaşım gözlemlenmektedir. Örneğin Özçelik vd. (2018) belirttiği gibi örnek alandan seçilmiş tesadüfi dört ağacın hem maliyet olarak hem de model performansı olarak optimum ağaç sayısı olduğu görülmektedir. Seçilecek ağaç sayısının artması envanter çalışmalarının maliyetini artırması, zaman alması ve en önemlisi eklenen ağaç sayısı ile model performansındaki değişimin olumlu yönde artması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmamızda basit ve geliştirilmiş modeller için beş ağacın seçilmesi yeterli olacağı düşünülmüştür.

Çizelge 4.15. Doğrusal olmayan basit ve geliştirilmiş karışık etkili modellerin kalibrasyon performansları

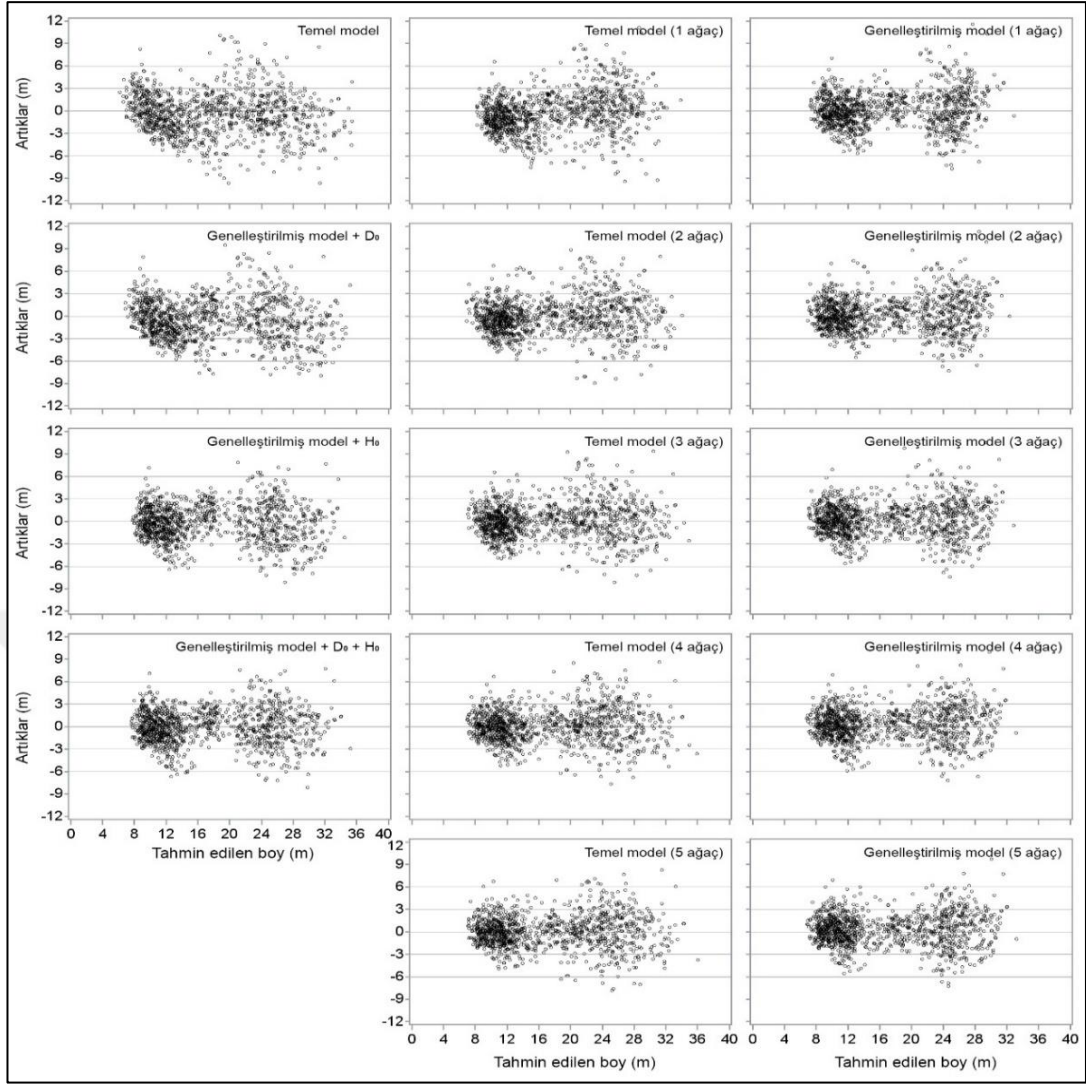
	Ağaç Sayısı	MD	MAD	RMSE	FI
Basit Model (Formül (4.4))	Sabit	0.4341	2.1854	2.8325	0.8594
	1	0.3233	2.0420	2.6774	0.8717
	2	0.1032	1.8111	2.4132	0.8958
	3	0.0042	1.7694	2.3181	0.9039
	4	0.0901	1.6948	2.2240	0.9115
	5	0.0262	1.6697	2.1914	0.9141
	Ağaç Sayısı	MD	MAD	RMSE	FI
Genelleştirilmiş Model (Formül (4.5))	Sabit	0.0401	1.8165	2.3148	0.9041
	1	0.1281	1.8515	2.3088	0.8979
	2	0.2335	1.7767	2.2871	0.9064
	3	0.2711	1.7736	2.2791	0.9071
	4	0.2989	1.7190	2.2049	0.9130
	5	0.2704	1.6960	2.1706	0.9157

Çizelge 4.15’ de görüldüğü gibi basit ve geliştirilmiş modellere her örnek alandan rastgele eklenen ağaç boyu ve çapı bilgileri model performansını olumlu yönde etkilemektedir. Çizelge 4.15’de ki sonuçlarda görüleceği gibi kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısı arttıkça modelin boy tahminlerindeki başarısı da yükselmektedir. Ancak hem basit hem de geliştirilmiş modeller için de kalibrasyon içinde kullanılan 4 ağaç ile 5 ağaç arasında bile gözle görülür farklar bulunmaktadır. Bu nedenle Bilecik yöresi doğal meşe türleri için model kalibrasyonunda 5 ağacın seçilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

4.6. Model Performanslarına İlişkin Değerlendirmeler

Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modellerinin geliştirmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, farklı model formları ve modelleme teknikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında basit ya da temel çap-boy modelleri, geliştirilmiş çap-boy modelleri, M7 modelini temel alarak yöreye uygun geliştirilen modeller ve karışık etkili geliştirilen modeller, geleneksel regresyon tekniği (en küçük kareler yöntemi) ve karışık etkili modelleme teknikleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ormancılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bazı basit çap-boy modelleri test edilmiş ve bunlar içerisinde en başarılı sonuçların M7 modeli ile elde edildiği görülmüştür. İkinci aşamada farklı çalışmalardan derlenen 20 adet geliştirilmiş çap-boy modeli test edilmiş ve en başarılı sonuçları GM19 denklemi ile elde edildiği ortaya konmuştur. Üçüncü aşamada ise M7 modeli ve bu modelin b_1 parametresi ile doğrusal ilişki gösteren dominant boy (H_0) ve dominant çap (D_0) kullanılarak yöreye ve türlere uygun geliştirilmiş BGM3 modeli ortaya konmuştur. Bir sonraki aşamada ise M7 modeli ve M7 modelini temel alarak yöreye uygun geliştirilen geliştirilmiş model karışık etkili modelleme yaklaşımı ile çözülmüştür. Şekil 4.3’ de temel M7 modeli, geliştirilmiş BGM3 modeli, karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilen temel model ve yine karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilen geliştirilmiş modeline ilişkin kullanılan ağaç sayısındaki artışa bağlı olarak da daha homojen hata dağılımı ortaya koydukları görülmektedir. Diğer yandan geliştirilmiş modeller, basit modellere göre daha homojen hata dağılımı ortaya koymuştur.

Bilecik yöresi meşe türleri için geliştirilen karışık etkili modeller ve bu modellere uygulanan kalibrasyon işlemi ile modellerin performans değişimi yine Şekil 4.3’de verilmiştir. Karışık etkili modellerde basit model için sabit etkili formundaki AIC ve BIC değerleri 6144 ve 6165 olan model karışık etkili modelleme yöntemi ve en başarılı parametre kombinasyonu uygulandığı takdirde 5448 ve 5464 olmuştur. AIC ve BIC bilgi ölçütleri kıyaslaması yapıldığı takdirde karışık etkili modelin %11 pozitif yönde değişimle daha başarılı çap-boy tahmini yapılabildiği görülmüştür. En uygun parametre kombinasyonu ve karışık etkili modelle yöntemi ile %11 oranında değişim oldukça yüksek bir oran olup karışık etkili modeller daha başarılı olduğunu göstermektedir. Karışık etkili geliştirilmiş model arasında ise en başarılı modelin en uygun parametre kombinasyonu ve parametre tahminleri haliyle kalibrasyon sonrasındaki performans değişim grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. Model için seçilmiş en uygun parametre kombinasyonu AIC ve BIC değerleri 5354 ve 5368 olarak bulunmuştur. Modelin sabit etkili halinin AIC ve BIC değerleri ise 5531 ve 5561 olarak bilinmektedir. Karışık etkili geliştirilmiş modeller arasında en düşük AIC ve BIC değerleri ise 5919 ve 5939 olarak $b_0b_1b_3$ tesadüfi etkili kombinasyonu olmuştur. Karışık etkili geliştirilmiş model için seçilen “ b_0b_4 ” parametrelerinin tesadüfi etkili olduğu kombinasyonu, sabit etkili model yapısından %3,41, en yüksek AIC ve BIC değerlerine sahip olan “ $b_0b_1b_3$ ” parametrelerinin tesadüfi etkili kombinasyonundan ise %9,12 oranında daha iyi performans göstermektedir.



Şekil 4.3. Basit, geliştirilmiş ve karışık etkili modeller ile elde edilen hata değerlerinin, tahmin edilen boy değerlerine göre dağılımı

Şekil 4.3 incelendiği takdirde tüm modellerin tahmin edilen boy değeri ve artık kalan değerlerin performans değişimi açıkça ortaya konmaktadır. Karışık etkili modellemelerde eklenen ağaç sayısının ve bu ekleme ile modellerin kalibrasyonun olumlu yönde performans artışı ve bunun yansıması olarak grafiğin daha homojen dağılıma yaklaştığı açık bir şekilde görülebilmektedir. Bu değişimi başarı ölçütleri olarak ele aldığımızda RMSE değerinin basit model sabit etkili halinde 2.832 olan değeri, bir ağaç eklenerek yapılan kalibre işleminden sonra 2.6774'e düştüğü görülmektedir. Basit modele beş ağaç eklenerek gerçekleştirilen kalibre işleminden sonra ise RMSE değeri 2.1914 sayısına kadar düşmektedir. Geliştirilmiş model kalibrasyon işleminde ise sabit etkili hali RMSE değeri 2.3148 iken bir ağaç eklenmiş hali 2.3088, beş ağaç eklenerek yapılmış kalibre performansı ise 2.1706 olmuştur.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çap ölçümü; kolay ve çabuk ölçülen bir değişken olmasına karşın boy ölçümü ise zor ve maliyetli bir işlemdir. Ağaçların boylarının ölçülmesi ve bu veriler ile ormancılık açısından optimum fayda ortaya koyacak planların yapılması son derece hayati bir konudur. Bu nedenle orman amenajmanı ve hasılatı için çap-boy modelleri en temel araştırma konularından biridir. Bu çalışmalar ile hasılat edilecek emval miktarı, mevcut karbon stoku ve artım miktarı gibi hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmekte hatta bazı modelleme yöntemleri ile yakın ve uzak gelecek için çeşitli tahminler gerçekleştirilebileceği ifade edilmektedir.

Ülkemizde çap-boy modelleri hakkında bazı asli türlerimiz için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar basit modeller, geliştirilmiş modeller ve karışık etkili modeller olmak üzere farklı modelleme teknikleri kullanılmıştır. Geçmiş yıllardan günümüze kadar olan zamanda yapılan çeşitli çalışmalar; geliştirilmiş modellerin basit modellerden, karışık etkili modelleme yönteminin ise hem basit hem de geliştirilmiş modellerden daha sağlıklı çap-boy tahminleri yaptığı görülmektedir. Ülkemizde yapılan çeşitli çap boy modelleri; Çatal ve Carus (2018), Ağlasun yöresinde Kızılcım türünde geliştirdikleri modelde korelasyon katsayısını 0.921 bulmuştur. Carus ve Akguş (2018), Tarsus yöresinde Fıstık çamı türünde test ettikleri modelde 0.816 korelasyon katsayısı bulmuşlardır. Ercanlı vd. (2012), Trabzon yöresinde Sarıçam ve Ladin türlerinde geliştirdikleri modelde belirtme katsayısını 0.951 olarak bulmuşlardır. Çatal (2012), Göller yöresinde Anadolu Karaçamı, Toros Sediri ve Yalancı Akasya türleri için Monserud (1975) tarafından önerilen modeli test etmiş ve sırayla 0.753, 0.729 ve 0.916 belirtme katsayıları elde etmiştir. Özçelik ve Çapar (2012), Antalya yöresi Kızılcım türü için geliştirdiği modelde 0.914 belirtme katsayısı bulmuştur. Alkan vd. (2019), Toros Göknarı türünde belirtme katsayısını 0.514 ve Özçelik vd (2018), Kızılcım ve Toros Sediri için sırayla 0.860 ve 0.826 FI değerlerini elde etmişlerdir. Çalışmalar, çap-boy modelleri hakkında farklı yetiştirme koşullarına sahip alanlarda ve bu alanlarda yetişen orman ağaç türlerimiz özelinde arttığı takdirde daha sağlıklı ve verimli sonuçlar elde edilebilir. Bu nedenle çap-boy ilişkilerinin doğru bir biçimde açıklanabilmesi için kapsamlı çalışmalar yoğun bir biçimde devam ettirilmelidir.

Çalışmamızda basit çap-boy modelleri, geliştirilmiş çap-boy modelleri hem geleneksel regresyon yöntemi hem de karışık etkili modelleme yöntemleri kullanılmış ve diğer aşamada da karışık etkili modeli kalibre ederek en başarılı model seçimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında basit veya temel çap-boy modelleri test edilmiştir. Bu modeller arasında en başarılı sonuçların M7 modeli ile elde edildiği görülmüştür.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise 20 farklı geliştirilmiş çap-boy modeli test edilmiştir. Bu aşamada da modeller içerisinde en başarılı sonuçları GM19 modeli göstermiştir. GM19 modeline en yakın başarılı sonuçlar üreten modeller ise GM14 ile GM13 modelleri olmuştur. Basit ve geliştirilmiş çap-boy modellerinin her ikisinde de en başarılı modellerin, yüksek ortalama hata değerleri ürettikleri görülmüştür. Fakat ortalama hata değeri, pek çok araştırmacı tarafından model seçiminde tek başına kullanılabilir bir ölçüt olarak kabul görmemektedir. Ortalama hata değerinden kaynaklanabilecek eksi ve artı yönlerdeki farkların birbirini yok etmesi mümkün olmaktadır.

Bilecik yöresinde bulunan doğal karışık meşe meşçereleri için M7 modeli referans alınarak geliştirdiğimiz yöreye uygun geliştirilmiş modele, her örnek alan için tek tek çözülmüş ve her örnek alan için parametre tahminleri elde edilmiştir. Elde edilen parametre değerleri ile her örnek alanda yer alan meşçere değişkenleri (dominant çap, dominant boy, hektardaki ağaç sayısı, göğüs yüzeyi) arasında ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda modelde yer alan b_1 parametresi, dominant çap ile dominant boy arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür. Bu ilişkiyi açıklamak için; dominant çap, dominant boy ve her iki değişkenin de eklendiği model yapıları belirli başarı ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen ölçüt değerleri sonucunda iki değişkenin birden eklendiği model formu daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Karışık etkili modelleme anlayışında ise; basit model ile yöreye uygun geliştirilen geliştirilmiş modellerinin her ikisinde de karışık-etkili modelleme yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme için modellerin; karışık etkili model formuna dönüştürülmesi, uygun parametre değerlerinin tayin edilmesi ve bu değerler çerçevesinde ortaya çıkan başarı ölçütlerindeki performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar karışık etkili doğrusal olmayan basit modelinde “ $b_0b_1b_2$ ”

parametrelerinin tesadüfi etkili kombinasyonu, yöreye uygun karışık etkili doğrusal olmayan geliştirilmiş modelinde ise “ b_0b_4 ” parametrelerinin tesadüfi etkili olduğu kombinasyonun daha başarılı çap-boy tahmini yapabileceği görülmüştür. Her iki modelin de karışık etkili formuna, her bir örnek alanda yer alan 1, 2, 3, 4 ve 5 ağacın çap-boy verileri eklenerek kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda eklenen her ağaç ile model performansı doğrusal olarak iyileşmiştir. Bilecik yöresi karışık meşe türleri için kalibre işleminin sonucunda 5 ağaç eklenerek yapılan kalibre işleminin daha uygun olacağına karar verilmiştir. Çalışmada kullanılan; en başarılı basit model olan M7, geliştirilmiş model olan GM19, yöreye ve türe özgü geliştirilen geliştirilmiş modellerden BGM1, BGM2 ve BGM3 modelleri ile karışık etkili modelleme tekniği ile geliştirilen basit ve geliştirilmiş modellerin 5 ağaç eklenerek kalibre edilmiş hallerinden elde edilen performans değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Bilecik yöresi meşe türleri için modellerin performans değerleri

Model	MAD	RMSE	FI
M7	2.173	2.858	0.862
GM19	1.800	2.363	0.905
BGM1	<u>2.868</u>	<u>3.648</u>	<u>0.758</u>
BGM2	2.200	2.847	0.856
BGM3	1.896	2.458	0.892
KEBM	<u>1.670</u>	2.191	0.914
KEGM	1.696	<u>2.171</u>	<u>0.916</u>

Burada en düşük RMSE ve en yüksek FI değerlerini üreten 5 ağaç ile kalibre edilen karışık etkili geliştirilmiş model en iyi sonuçları verirken yöre için geliştirilen BGM1 modeli başarı ölçütleri arasında kötü değerleri üretmiştir. Sonuç olarak; Bilecik yöresi meşe türleri için çap-boy modelleri geliştirilmesi adlı bu yüksek lisans tezi ile karışık etkili modelleme yöntemini ile geliştirilen modellerin; yöreye ve türe uygun geliştirilen geliştirilmiş modellerden, çalışmamızda denenen 10 tane basit çap-boy modeli ve 20 tane geliştirilmiş çap-boy modellerinden daha iyi sonuçlar ürettiği görülmüştür. Karışık etkili modelleme tekniği ile oluşturulan basit ve geliştirilmiş modeller kalibre edilerek model performansı daha da iyileşmiş ve çap-boy tahmini için daha sağlıklı sonuçlar üretebileceği görülmüştür. Bilecik yöresinde yayılış gösteren meşe türleri için detaylı bir çap-boy modeli çalışması bugüne kadar yapılmamıştır. Bu nedenle Bilecik yöresi meşe türleri için ilk olma özelliği taşıyan bu çalışma, karışık

etkili modelleme tekniği ile oluşturulan hem basit modelin hem de genelleştirilmiş modellerin Bilecek yoresi doğal ve karışık meşe meşcerelerinde guvenilir boy tahminleri iwin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ülkemiz ormancılığı ve dñnya genelinde geliştirilen çap-boy modelleri; hacim hesabı, ara ürün hesabı, orman planlanması, karbon miktarı hesaplanması ve simülasyon çalışmaları iwin önemli birer altlıktır. Bu modellerin doğruluk oranı, büyük alanlara kolayca uygulanabilmesi, esnek yapıda olması, farklı meşcere değişkenlerinin model formuna kolayca eklenebilmesi gibi özellikleri aranmaktadır. Ülkemiz ormancılığı iwin sahip olduğumuz tür ve iklim çeşitliliği de göz önünde bulundurularak, farklı bölgelerde farklı yetişme ortamlarına uygun, saf veya karışık meşcereler iwin çap-boy modelleri geliştirilmeye devam edilmelidir. Sağlıklı boy tahminleri yapabilmek iwin uygun model tipi belirlenmelidir. Basit modeller, genelleştirilmiş modeller ve birçok çalışmada genelleştirilmiş modellerden daha başarılı olduğu gözlemlenen karışık etkili modelleme yöntemleri test edilmelidir. Yapılan testler sonucunda ağaç türünün biyolojisine ve veri yapısına uygun modeller tercih edilmelidir. Doğru tercih edilen model formları ile asli ve tali orman ağaç türlerimiz iwin ülke genelinde çap-boy modelleri geliştirilmeli, ormancılık faaliyetlerinde bu modeller sayesinde yapılacak doğru tahminler yardımıyla başarılı tahminler yapılmalı ve böylelikle sürdürülebilir orman yönetimi anlayışımız güçlü bir şekilde devam ettirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ademe, P., M. Del Rio. & I. Canellas. (2008). A mixed nonlinear height-diameter model for hyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management*, 256 (1-2), 88-98.
- Ahmadi, K. & Alavi, S.J. (2016). Generalized height-diameter models for *Fagus orientalis* Lipsky in Hyrcanian forest, Iran. *Journal of Forest Science*, 62, 413-421.
- Ahmadi, K., Jalil Alavi, S., Kouchaksaraei, M. T. & Aertsen, W. (2013). Non-linear height-diameter models for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 17(3), 431-440.
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control AC-19*, 716–723.
- Alkan, O., Özçelik, R. & Alkan, H. (2019). Türkiye'nin bazı önemli ağaç türleri için yöresel gövde çapı modellerinin geliştirilmesi: Bucak örneği. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 20(4), 333-340.
- Arabatzi, A. A. & Burkhart, H. E. (1992). An evaluation of sampling methods and model forms for estimating height-diameter relationships in loblolly pine plantations. *Forest science*, 38 (1), 192-198.
- Arias-Rodil, M., Diéguez-Aranda, U. & Burkhart, H. E. (2017). Effects of measurement error in total tree height and upper-stem diameter on stem volume prediction. *Forest Science*, 63 (3), 250-260.
- Arias-Rodil, M., Diéguez-Aranda, U., Rodríguez Puerta, F., López-Sánchez, C. A., Canga Lábano, E., Cámara Obregón, A. & Castedo-Dorado, F. (2015). Modelling and localizing a stem taper function for *Pinus radiata* in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 45 (6), 647-658.
- Atay, İ. (1982). Doğal Gençleştirme Yöntemleri II (önemli ağaç türlerimizin Silvikültürel Özellikleri ve bu özelliklere göre gençleştirme yöntemlerinin uygulanması). *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*. Yayın No 3012, 320.
- Bertalanffy L.V. (1957). Quantitative laws in metabolism and growth. *Quarterly Review of Biology*, 32, 217–231.
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest Science*, 46 (3), 397-409.
- Bredenkamp, B. V. & Gregoire, T. G. (1988). A forestry application of Schnute's generalized growth function. *Forest science*, 34(3), 790-797.

- Bronisz, K. & Mehtätalo, L. (2020). Mixed-effects generalized height–diameter model for young silver birch stands on post-agricultural lands. *Forest Ecology and Management*, 460, 117901.
- Brooks JR. & Wiant HV. (2007). *Evaluating ecoregion-based height diameter relationship of five economically important Appalachian hardwood species in West Virginia*. Proceedings of the Seventh Annual Forest Inventory and Analysis Symposium. 3–6 October 2007; Portland, OR, USA.
- Calama, R. & Montero, G. (2004). Interregional nonlinear height diameter model with random coefficients for stone pine in Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (1), 150-163.
- Calama, R. & Montero, G. (2006). Stand and tree-level variability on stem form and tree volume in *Pinus pinea* L.: A multilevel random components approach. *Forest Systems*, 15 (1), 24-41.
- Cao, Q. V. & Wang, J. (2011). Calibrating fixed-and mixed-effects taper equations. *Forest ecology and management*, 262 (4), 671-673.
- Carlson, C. A., Burkhart, H. E., Allen, H. L. & Fox, T. R. (2008). Absolute and relative changes in tree growth rates and changes to the stand diameter distribution of *Pinus taeda* as a result of midrotation fertilizer applications. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(7), 2063-2071.
- Carus, S. (1997). Aynı yaşlı doğu kayını meşcerelerinde hacim artımının meşçere yaşı, bonitet, göğüs yüzeyi ve sosyal gövde sınıflara göre değişimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 47(1-2-3-4), 63-80.
- Carus, S. & Akguş, Y. (2018). Tarsus yöresi fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 19(1), 1-8.
- Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M. & Crecente-Campo, F. (2012). Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. *Annals of Forest Science*, 69(6), 735-746.
- Castedo-Dorado, F., Diéguez-Aranda, U., Barrio Anta, M., Sánchez Rodríguez, M. & Gadow, K.V. (2006). A generalized height–diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 229, 202–213.
- Chenge, I. B. (2021). Height–diameter relationship of trees in Omo strict nature forest reserve, Nigeria. *Trees, Forests and People*, 3, 100051.
- Clark, A., Souter, R. A. & Schlaegel, B. E. (1991). Stem profile equations for southern tree species. Research paper SE (USA).

- Colbert, K.C., Larsen, D.R & Lootens, J.R. (2002). Height-diameter equations for thirteen midwestern bottomland hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry*, 19,4,171-176.
- Crecente-Campo, F., Tomé, M., Soares, P. & Diéguez-Aranda, U. (2010). A generalized nonlinear mixed-effects height–diameter model for *Eucalyptus globulus* L. in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 259 (5), 943-952.
- Curtis, R. O. (1967). Height-diameter and height-diameter-age equations for secondgrowth Douglas-fir. *Forest science*, 13 (4), 3.
- Çalışkan, A. (2016). *Bazı Meşe Türlerinde Meyvenin Oluşum ve Gelişim Süreci*. Uluslararası katılımlı Meşe Çalıştay1, 18-220 Ekim 2016, İğneada-Demirköy.
- Çatal, Y. (2009). *Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Artım ve Büyüme*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Çatal, Y. (2012). Göller yöresinde Yalancı akasya, Anadolu karaçamı ve Toros sediri ağaç Türleri için çap-boy modeli. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(2), 92-96.
- Çatal, Y. & Carus, S. (2018). A height-diameter model for brutian pine (*Pinus Brutia* Ten.) plantations in southwestern Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(2), 1445-1459.
- De-Miguel, S., Mehtatalo, L., Shater, Z., Kraid, B. & Pukkala, T. (2012). Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data. *Canadian Journal of Forest Research*, 42 (7), 1383-1394.
- Di Iorio, A., Lasserre, B., Scippa, G. S. & Chiatante, D. (2007). Pattern of secondary thickening in a *Quercus cerris* root system. *Tree physiology*, 27(3), 407-412.
- Diamantopoulou, M.J. & Özçelik, R. (2012). Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean Region of Turkey. *Forest Systems*, 21, 383-397.
- Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G. & Rojo, A. (2006). Compatible taper function for Scots pine plantations in northwestern Spain. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 (5), 1190-1205.
- Diéguez-Aranda, U., Barrio Anta, M., Castedo Dorado, F. & Álvarez González, J. G. (2005). Relación altura-diámetro generalizada para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. *Forest Systems*, 14(2), 229–241.
- Dişli E. (2016). *Belgrad Ormanında Bazı Meşe Türü Gençliklerinin Silvikültürel Özellikleri*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

- Doyog, N. D., Lumbres, R. I. C., Calora, F. G., Pampolina, N. M., Gamboa, M. D., Chichioco, D. S. & Lee, Y. J. (2020). Nonlinear Height-DBH Model Analysis for Three Tropical Tree Species in Mt. Makiling, Philippines. *Journal of Sustainable Forestry*, 1–17.
- Dünder, T. (2001). Demirköy yöresi Istranca meşelerinin (*Quercus hartwissiana* Stev.) fiziksel özellikleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 51(2), 65-80.
- Ercanlı, İ. & Eyüboğlu, D (2019). Ağaçların Çap-Boy Modellemesine İlişkin Otokorelasyon Probleminin Giderilmesinde Karışık Etkili Doğrusal Olmayan Regresyon Modelleri ile Ototregresif Regresyon Modellerinin Etkinliğinin Karşılaştırılması. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 5(1), 17-27.
- Ercanlı, İ., Kahriman, A. & Yavuz, H. (2012). Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü Doğu Ladini-Sarıçam karışık meşcereleri için karışık etkili doğrusal olmayan regresyon denklemleri ile Doğu Ladini çap-boy modellerinin geliştirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2012, 13: 75-84.
- Ercanlı, İ., Kahriman, A. & Bolat, F. (2015). *Applications of artificial neural network for predicting the relationships between height and age for oriental beech*. In The 10th international beech symposium. 1-6.
- European Forest Genetic Resources Programme (2020). <http://www.euforgen.org/species/> (Son erişim tarihi: 02.04.2021).
- Fang, Z., Borders, B. E. & Bailey, R. L. (2000). Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, 46 (1), 1-12.
- Fang, Z. & Bailey, R.L. (1998). Height–diameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management*, 110, 315–327.
- Fekedulegn, D., M.P.M. Surtain & Colbert, J.J. (1999). Parameter estimation of nonlinear growth model in forestry. *Forest Science*, 33, 327-336.
- Ferraz Filho, A. C., Mola-Yudego, B., Ribeiro, A., Scolforo, J. R. S., Loos, R. A. & Scolforo, H. F. (2018). Height-diameter models for Eucalyptus sp. plantations in Brazil. *Cerne*, 24(1), 9-17.
- Gaffrey, D. 1988. *Forstamt-und bestandesindividuelles sortimentierungsprogramm als mittel zur plannung, aushaltung und simulation*. Diplomarbeit Forsliche Fakultät, Univ. Göttingen.
- Gómez-García, E., Crecente-Campo, F. & Diéguez-Aranda, U. (2013). Selection of mixed-effects parameters in a variable–exponent taper equation for birch trees in northwestern Spain. *Annals of forest science*, 70 (7), 707-715.

- Gómez-García, E., Diéguez-Aranda, U., Özcelik, R., Sal-Cando, M., CastedoDorado, F., Crecente-Campo, F. & Arias-Rodil, M. (2016). Desarrollo de una función de perfil mediante modelos mixtos para *Pinus sylvestris* en Turquía: selección de parámetros fijos a expandir. *Bosque (Valdivia)*, 37 (1), 159-167.
- Gomez-Garcia, E., Fonseca, T. F., Crecente-Campo, F., Almeida, L.R., Dieguez-Aranda, U., Huang, S. & Marques, C.P. (2015). Height-diameter models for maritime pine in Portugal: a comparison of basic, generalized and mixed-effects models. *iForest*, 9, 72-78.
- Göçer, Nilsun. (2016). *Batı Akdeniz yöresi doğal Toros sediri meşcereleri için karışık etkili çap-boy modellerinin geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Güngördü, M. (1999). *Marmara Bölgesinin Bitki Coğrafyası*. İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Hall, D.B. & Bailey, R.L. (2001). Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science*, 47,3, 311-321.
- Hedge, I.C. & Yaltırık, F. (1982). *Quercus L. In: Davis, P.H. (Ed.), Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, University Pres. Vol. 7, 659-683, Edinburg.
- Huang, S., Price, D., Morgan, D. & Titus, S. (1999). Validation of ecoregion-based taper equations for white spruce in Alberta. *The Forestry Chronicle*, 75 (2), 281-292.
- Huang, S., Titus, S. J. & Wiens, D. P. (1992). Comparison of nonlinear height–diameter functions for major Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 (9), 1297-1304.
- Huang, S., Wiens, D. P., Yang, Y., Meng, S. X. & Vanderschaaf, C. L. (2009). Assessing the impacts of species composition, top height and density on individual tree height prediction of quaking aspen in boreal mixed woods. *Forest ecology and management*, 258 (7), 1235-1247.
- Jayaraman, K. & Zakrzewski, W. T. (2001). Practical approaches to calibrating height–diameter relationships for natural sugar maple stands in Ontario. *Forest ecology and management*, 148 (1-3), 169-177.
- Kadim, N. (2010). *Artvin yöresi aynı yaşlı saf doğu ladini meşcerelerinde çap ve boy büyüme modellerinin geliştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi).
- Kantarcı, M.D. (1974). Trakya orman sahalarının tabii ağaç ve çalı türlerine göre bölgesel sınıflandırılması. Edebiyat Fakültesi Basımevi, *Güney – Doğu Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 2-3.
- Kapucu, F. (1996). *Orman Amenajmanı (Temel Kavramlar)*. Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Ders Notları, Artvin.

- Kozak, A. (1998). Effects of upper stem measurements on the predictive ability of a variable-exponent taper equation. *Canadian journal of forest research*, 28 (7), 1078-1083.
- Kozak, A. (2004). My last words on taper equations. *The Forestry Chronicle*, 80 (4), 507-515.
- Lappi, J. (1997). A longitudinal analysis of height/diameter curves. *Forest science*, 43 (4), 555-570.
- Larsen, D.R. & Hann, D.W. (1987). Height–diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Research paper 49. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, 16 p.
- Lee, W. K., Seo, J. H., Son, Y. M., Lee, K. H. & Von Gadow, K. (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, 172 (1), 69-77.
- Lei, Y. (1998). *Modelling forest growth and yield of Eucalyptus globulus Labill. In central-interior Portugal*. (Ph. D. Thesis, Universidade de Tras-os-Montes e Alto Douro, 1998 (unpublished).
- Lei, Y. & Parresol, B.R. (2001). Remarks on height-diameter modeling (Research Note SRS-10), United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, Asheville, North Carolina.
- Lhotka, J. M. (2012). Height-diameter relationships in Sweetgum (*Liquidambar styraciflua*)-dominated stands. *Southern Journal of Applied Forestry*, 36(2), 98-106.
- Lhotka, J. M. & Loewenstein, E. F. (2008). Influence of canopy structure on the survival and growth of underplanted seedlings. *New Forests*, 35(1), 89-104.
- Lootens, J.R., Larsen, D.R. & Shifley, S.R. (2007). Height-Diameter Equations for 12 Upland Species in The Missouri Ozark Highlands. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24,2, 149-152.
- López Sánchez, C.A., Gorgoso Varela, J., Castedo Dorado, F., Rojo Alboreca, A., Rodríguez Soalleiro, R., Alvarez González, J.G. & Sánchez Rodríguez, F. (2003). A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). *Annals of Forest Science*, 60, 237–245.
- López, A. M., Trincado, G., Barrios, A. & Nieto, V. (2013). Modelos regionales de altura-diámetro para plantaciones jóvenes de *Eucalyptus tereticornis* en la costa atlántica colombiana. *Bosque (Valdivia)*, 34(2), 233-241.
- Majer, A. (1984). The Ecological Relations of Turkey Oak (*Quercus cerris*). *Folia Dendrologica*, 11, 331-345.

- Mehtätalo, L. (2004). Alongitudinal height-diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 131-140.
- Mehtätalo, L., de-Miguel, S. & Gregoire, T. G. (2015). Modeling height-diameter curves for prediction. *Canadian Journal of Forest Research*, 45 (7), 826-837.
- Meng, S.X., Huang, S., Yang, Y., Trincado, G. & VanderSchaaf, C. (2009). Evaluation of population-averaged and subject-specific approaches for modeling the dominant/co-dominant height of lodgepole pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 39, 1148-1158.
- MısıR, M., MısıR, N. & Erkut, S. (2012). Estimations of total ecosystem biomass and carbon storage for fir (*Abies nordmanniana* S. subsp. *bornmülleriana* (Mattf.)) forests (Western Black Sea Region). *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12(3), 60-64.
- MısıR, N. (2010). Generalized height-diameter models for *Populus tremula* L. Stands. *African Journal of Biotechnology*, 9,28, 4348-4355.
- Mitchell, R. J., Truscot, A. M., Leith, I. D., Cape, J. N., Van Dijk, N., Tang, Y. S. & Sutton, M. A. (2005). A study of the epiphytic communities of Atlantic oak woods along an atmospheric nitrogen deposition gradient. *Journal of Ecology*, 93(3), 482-492.
- Monsured, R. (1975). Methodology for simulating Wisconsin northern hardwood stand dynamics. Ph.D. Diss. Univ. of Wisconsin, Madison. 156 p.
- Monserud, R. A. (1984). Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. *Forest Science*, 30(4), 943-965.
- Moore, J.A., Zhang, L. & Stuch, D. (1996). Height-diameter equations for ten tree species in the Inland Northwest. *Western Journal of Applied Forestry*, 11, 132-137.
- Nixon, C. K., Jensen, R. J., Manos, P. & Muller, C. H. (1997). Flora of North America, *North of Mexico*. Vol. 3 Magnoliophyta: Magnoliidae and Hamamelidae, 445–447.
- OGM, (2015). Türkiye Orman Varlığı. <https://web.ogm.gov.tr/> (Son erişim tarihi: 18.12.2020)
- OGM, (2020). Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri 2019 Türkiye Raporu. <https://www.ogm.gov.tr/tr> (Son erişim tarihi: 25.02.2021)
- Özçelik, R. & Cao, Q. V. (2017). Evaluation of fitting and adjustment methods for taper and volume prediction of black pine in Turkey. *Forest Science*, 63(4), 349-355.

- Özçelik, R., Cao, Q. V., Trincado, G. & Gocer, N. (2018). Predicting tree height from tree diameter and dominant height using mixed-effects and quantile regression models for two species in Turkey. *Forest Ecology And Management*, 419, 240-248.
- Özçelik, R. & Çapar, C. (2014). Developing generalized height-diameter models for natural brutian pine stands in Antalya district. *Turkish Journal of Forestry*, 15 (1), 44-52.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., Crecente-Campo, F. & Eler, U. (2013). Estimating Crimean juniper tree height using nonlinear regression and artificial neural network models. *Forest ecology and management*, 306, 52-60.
- Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J. & Trincado, G. (2019). Evaluation of potential modeling approaches for Scots pine stem diameter prediction in north-eastern Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 773-782.
- Özçelik, R., Yavuz, H., Karatepe, Y., Gürlevik, N. & Kırış, R. (2014). Development of ecoregion-based height-diameter models for 3 economically important tree species of southern Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38 (3), 399-412.
- Özçelik, R. & Yiğit, E. (2018). Toros göknarında gövde çapı modelinin doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi. *Turkish Journal of Forestry*, 19 (2), 138-148.
- Parresol, B.R. (1992). Baldcypress height–diameter equations and their prediction confidence interval. *Canadian Journal of Forest Research*, 22, 1429–1434.
- Peng, C. (2001). *Developing ecoregion-based height-diameter models for jack pine and black spruce in Ontario (No. 159)*. Sault Ste. Marie: Ontario Forest Research Institute.
- Peng, C., Zhang, L., Zhou, X., Dang, Q. & Huang, S. (2004). Developing and evaluating tree height-diameter models at three geographic scales for black spruce in Ontario. *Northern Journal of Applied Forestry*, 21 (2), 83-92.
- Peng, C.H. (1999). Nonlinear height-diameter models for nine tree species in ontario boreal forests. *Ministry of Natural Resources, Ontario Forest Research Institute*, 155, 28.
- Pienaar, L. V. & Shiver, B. D. (1980). Dominant height growth and site index curves for loblolly pine plantations in the Carolina flatwoods. *Southern Journal of Applied Forestry*, 4(1), 54-59.
- Pienaar, L. V. & Shiver, B. D. (1984). The effect of planting density on dominant height in unthinned slash pine plantations. *Forest science*, 30(4), 1059-1066.

- Pienaar, L. V. & Turnbull, K. J. (1973). The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Science*, 19(1), 2-22.
- Popović, R., Kojić, M. & Karadžić, B. (1997). Ecological Characteristics of Six important Submediterranean tree Species in Serbia. *Bocconeia*, 5(2), 431-438.
- Poudel, K. P. & Cao, Q. V. (2013). Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59 (2), 243-252.
- Praciak, A. (2013). *The CABI encyclopedia of forest trees*. Cabi publishing, Oxfordshire, UK.
- Price, A. & Savill, P. (2013). Acoustic Velocity measurements of Oak—Do these assist in detecting shaken stems?. *Quarterly Journal of Forestry*, 107(3), 192-202.
- Raptis, D. I., Kazana, V., Kazaklis, A. & Stamatiou, C. (2021). Mixed-effects height–diameter models for black pine (*Pinus nigra* Arn.) forest management. *Trees*, 1-17.
- Rodriguez, F., Lizarralde, I., Fernández-Landa, A. & Condés, S. (2014). Nondestructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. *European journal of forest research*, 133 (2), 213-223.
- Rodríguez-Ortiz, G., Aragón-Peralta, R. D., Enríquez-del Valle, J. R., Hernández-Hernández, A., Santiago-García, W. & Campos-Angeles, G. V. (2020). Calidad de plántula de progenies selectas de *pinus pseudostrobus* lindl. Var. Oaxacana del sur de México. *Interciencia*, 45(2), 96-101.
- Saatçioğlu, F & Odabaşı, T. (1979). Türkiye ormancılığında bakım sorunları, bazı doğal ve yapay kızılçam (perelerinde yapılan bakım müdahalelerine ait bulgular. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 0 (0), 51-82.
- Sabatia, C. O. & Burkhart, H. E. (2014). On the use of upper stem diameters to localize a segmented taper equation to new trees. *Forest Science*, 61 (3), 411- 423.
- SAS, I. (2013). Base SAS 9.4 procedures guide: statistical procedures. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Scaranello, M. A. D. S., Alves, L. F., Vieira, S. A., Camargo, P. B. D., Joly, C. A. & Martinelli, L. A. (2012). Height-diameter relationships of tropical Atlantic moist forest trees in southeastern Brazil. *Scientia Agricola*, 69(1), 26-37.
- Schnute, J. (1981). A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38, 1128–1140.
- Sharma, M. & Burkhart, H. E. (2003). Selecting a level of conditioning for the segmented polynomial taper equation. *Forest science*, 49 (2), 324-330.

- Sharma, M. & Oderwald, R. G. (2001). Dimensionally compatible volume and taper equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 31 (5), 797-803.
- Sharma, M. & Parton, J. (2007). Height-diameter equations for boreal tree species in ontario using a mixed-effects modeling approach. *Forest Ecology and Management*, 249, 187-198.
- Sharma, M. & Zhang, S. Y. (2004). Height–diameter models using stand characteristics for *Pinus banksiana* and *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19, 442–451.
- Soares, P. & Tomé, M. (2002). Height–diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 166, 99–109.
- Sönmez, T. (2009). Generalized height-diameter models for *Picea orientalis* L. *Journal of Environmental Biology*, 30, 767-772.
- Şahin, A. (2014). Proje "Macar Meşesi (*Quercus frainetto* Ten.) Meşcerelerinin Hasılatı", Orman Genel Müdürlüğü, 2014-2018.
- Temesgen, H., Monleon, V.J. & Hann, D.W. (2008). Analysis of nonlinear tree height prediction strategies for Douglas-fir forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 553-565.
- Temesgen, H. & VonGadow, K. (2004). Generalized height-diameter models-an applications for major tree species in Complex stands of Interior British Columbia. *European Journal of Forest Research*, 13, 45-51.
- Thirgood, J. V. (1971). The historical significance of oak. In *In: Oak Symposium Proceedings. 1971 August 16-20; US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: Upper Darby, PA. 1-18.*
- Titus, S.J. (2000). Development of ecoregion-based height diameter models for white spruce in boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 12, 125-141.
- Trincado, G. & Burkhart, H. E. (2006). A generalized approach for modeling and localizing stem profile curves. *Forest Science*, 52 (6), 670-682.
- Trincado, G., VanderSchaaf, C. L. & Burkhart, H. E. (2007). Regional mixed-effects height–diameter models for loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations. *European Journal of Forest Research*, 126 (2), 253-262.
- Tucker, J. M. (1980). Taxonomy of California oaks. General Technical Report PSW-44, 19-29.
- Tzvetkova, N. & Kolarov, D. (1996). Effect of air pollution on carbohydrate and nutrients concentrations in some deciduous tree species. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 22(1-2), 53-63.

- Ürgenç, S. (1998). Ağaçlandırma tekniği. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, 441/3994. İstanbul.
- Vargas-Larreta, B., Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J. G., Barrio-Anta, M. & Cruz-Cobos, F. (2009). A generalized height–diameter model with random coefficients for uneven-aged stands in El Salto, Durango (Mexico). *Forestry*, 82(4), 445-462.
- Wang, C. H. & Hann, D. W. (1988). Height-diameter equations for sixteen tree species in the central western Willamette Valley of Oregon. Forest Research Lab. Oregon State Univ. Research paper.
- Wang, Y., LeMay, V. M. & Baker, T. G. (2007). Modelling and prediction of dominant height and site index of Eucalyptus globulus plantations using a nonlinear mixed-effects model approach. *Canadian journal of forest research*, 37 (8), 1390-1403.
- West, A. G., Hultine, K. R., Jackson, T. L. & Ehleringer, J. R. (2007). Differential summer water use by Pinus edulis and Juniperus osteosperma reflects contrasting hydraulic characteristics. *Tree physiology*, 27(12), 1711-1720.
- Wiedeman, E. (1936). Über die Vereinfachung der Höhenermittlung bei der Vorratsaufnahme. *Fortwiss.* 7,387-412.
- Wykoff, W.F., Crookston, N.L. & Stage, A.R. (1982). User's guide to the Stand Prognosis Model. USDA Forest Service. General Technical Report INT-133, Intermountain Forest and Range Experimental Station, Ogden, UT, 113 p.
- Yaltrık, F. (1984). *Türkiye Meşeleri Teşhis Kılavuzu*. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Genel Müdürlüğü Yayını, Yenilik Basımevi, İstanbul.
- Yaltrık, F. & Efe, A. (1994). *Dendroloji Ders Kitabı Gymnospermae-Angiospermae*, İstanbul Üniversitesi. Orman Fakültesi. Yayın No: 431, İstanbul.
- Yang, Y., Huang, S. & Meng, S. X. (2009a). Development of a tree-specific stem profile model for white spruce: a nonlinear mixed model approach with a generalized covariance structure. *Forestry*, 82 (5), 541-555.
- Yang, Y., Huang, S., Trincado, G. & Meng, S. X. (2009b). Nonlinear mixed-effects modeling of variable-exponent taper equations for lodgepole pine in Alberta, Canada. *European Journal of Forest Research*, 128 (4), 415-429.
- Yang, R.C., Kozak, A. & Smith, J.H., (1978). The potential of Weibull-type functions as a flexible growth curve. *Canadian Journal of Forest Research*, 8, 424–431.
- Yuancai, L. & Parresol, B. R. (2001). Remarks on height-diameter modeling (Research Note SRS-IO). Asheville, NC: United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.

- Zhang, H., Lei, X. & Zeng, W. (2016). Height–diameter equations for larch plantations in northern and northeastern China: a comparison of the mixed effects, quantile regression and generalized additive models. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 89 (4), 434-445.
- Zhang, L. (1997). Cross-validation of non-linear growth functions for modelling tree height–diameter relationships. *Annals of Botany*, 79 (3), 251-257.
- Zhang, L., Peng, C., Huang, S. & Zhou, X. (2002). Development and evaluation of ecoregion-based jack pine height-diameter models for Ontario. *The Forestry Chronicle*, 78 (4), 530-538.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali :

Yanacı Dili :

E-posta :

Eğitim:

Lise :

Lisans :

Mesleki Deneyim: