

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

**DOKTORA TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TOROS GÖKNARI (*Abies cilicica* Carr.) MEŞCERELERİ İÇİN
GÖVDE ÇAPI, ÇAP-BOY, ÇAP DAĞILIM VE BONİTET
ENDEKS MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Onur ALKAN

**Danışman
Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK**

ISPARTA - 2019



© 2019 [Onur ALKAN]

TEZ ONAYI

TOROS GÖKNARI (*Abies cilicica* Carr.) MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE ÇAPI, ÇAP-BOY, ÇAP DAĞILIM VE BONİTET ENDEKS MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Onur ALKAN tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan Prof. Dr. Ramazan ÖZCELİK
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Prof. Dr. Serdar CARUS
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye Doç. Dr. İlker ERCANLI
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye Doç. Dr. Oytun Emre SAKICI
Kastamonu Üniversitesi

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

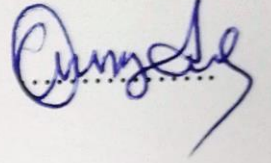
ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezime ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

01/09/2019

Onur ALKAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Toros Göknarı (<i>Abies cilicica</i> Carr.) Türüne Ait Genel Bilgiler	9
1.1.1. Türkiye'deki yayılışı.....	9
1.1.2. Botanik özellikleri.....	10
1.1.3. Silvikültürel özellikleri ve meşcere kuruluşları	10
1.1.4. Anatomik ve teknolojik özellikleri	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1. Materyal	33
3.1.1. Gövde çapı modellerine ilişkin materyal	33
3.1.2. Çap-boy modellerinin geliştirilmesine ilişkin materyal.....	36
3.1.3. Çap dağılım modellerine ilişkin materyal	39
3.1.4. Bonitet endeks modellerine ilişkin materyal.....	40
3.2. Yöntem.....	43
3.2.1. Gövde çapı modellerine ilişkin yöntem	43
3.2.1.1. Model performanslarının değerlendirmesinde kullanılan ölçütler.....	48
3.2.2. Karışık etkili modelleme yaklaşımı ile gövde çapı modelinin geliştirilmesi ilişkin yöntem.....	48
3.2.2.1. Karışık-etkili modelleme ile gövde çapı modelinin geliştirilmesinde izlenen genel yöntem.....	51
3.2.2.2. İstatistiksel analiz.....	56
3.2.2.3. Model performanslarının değerlendirmesinde kullanılan ölçütler.....	57
3.2.3. Çap-boy modellerine ilişkin yöntem.....	58
3.2.3.1. Bazı çap-boy modellerinin karşılaştırılması ve temel model formunun seçimi.....	58
3.2.3.2. Kalibre edilmiş sabit etkili model	59
3.2.3.3. Karışık etkili çap-boy modeli.....	60
3.2.4. Çap dağılım modellerine ilişkin yöntem.....	61
3.2.4.1. Üç parametrelili çözüm (recovery) metodu.....	62
3.2.4.2. İstatistiksel değerlendirme	65
3.2.5. Bonitet endeks modellerine ilişkin yöntem.....	66
3.2.6. İstatistiksel değerlendirme kriterleri	72
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	74
4.1. Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular.....	74
4.1.1. Çoklu bağıntı, otokorelasyon ve değişen varyansa ilişkin bulgular.....	74
4.1.2. Geliştirilen gövde çapı modellerine ilişkin bulgular	76
4.2. Karışık Etkili Yaklaşım ile Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular.....	86
4.2.1. Karışık-etkili parçalı gövde çapı modeli	86
4.2.2. Hata varyansı ve otokorelasyon için elde edilen sonuçlar	88
4.2.3. Yeni bir ağaç için kalibrasyon işlemi.....	90

4.3. Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular.....	92
4.3.1. Sabit etkili model ile kalibre edilmiş sabit etkili modelin karşılaştırılması.....	96
4.3.2. Sabit etkili model ile karışık etkili modelin karşılaştırılması	98
4.3.3. Kalibre edilmiş sabit etkili model ile karışık etkili modelin karşılaştırılması.....	98
4.3.4. Kalibrasyon boyutunun tahmin başarısına olan etkisi	99
4.4. Çap Dağılım Modellerine İlişkin Bulgular	101
4.5. Bonitet Endeks Modellerine İlişkin Bulgular	111
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	120
5.1. Gövde Çapı Modelleri.....	120
5.2. Karışık Etkili Yaklaşım ile Gövde Çapı Modelleri.....	122
5.3. Çap-Boy Modelleri.....	124
5.4. Çap Dağılım Modelleri	125
5.5. Bonitet Endeks Modelleri	127
KAYNAKLAR	129
ÖZGEÇMİŞ	150

ÖZET

Doktora Tezi

TOROS GÖKNARI (*Abies cilicica* Carr.) MEŞCERELERİ İÇİN GÖVDE ÇAPI, ÇAP-BOY, ÇAP DAĞILIM VE BONİTET ENDEKS MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Onur ALKAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için, ağaç türlerinin büyüme ve hasılatına ilişkin güvenilir bilgilerin bulunması gereklidir. Ağaç türlerinin büyüme ve hasılatına ilişkin en temel bileşenler; ağaç hacim tahminleri, ağaçların çap-boy ilişkileri, meşcerelerin çap dağılımı ve yetiştirme ortamı verim gücü sınıflandırmasıdır. Ancak ülkemizde, Toros göknarı meşcerelerinin büyüme ve hasılatına ilişkin var olan bilgiler oldukça sınırlıdır. Bu amaçla, birinci bölümde Toros göknarı meşcereleri için gövde çapı, ağaç boyu, ticari hacim ve toplam gövde hacmi tahminleri için gövde çapı tahmin modelleri geliştirilmiştir. 12 farklı gövde çapı tahmin modeli test edilmiş ve ölçüt değerlerine göre Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen modelin bu 4 özellik bakımından da en başarılı sonuçları verdiği görülmüştür. İkinci bölümde, gövde çapı modeli, Max ve Burkhardt (1976) gövde çapı modeli kullanılarak, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir. Karışık etkili model için öncelikle, en uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonu belirlenmiş ve sonra 10 farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiştir. Üçüncü bölümde, Toros göknarı meşcereleri için Gompertz modeli kullanılarak, sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Kalibre edilmiş sabit etkili model ile karışık etkili model için farklı ağaç sayıları kullanılarak kalibrasyon işlemi de yapılmıştır. Dördüncü bölümde, Toros göknarı meşcerelerinin çap dağılımı, Johnson's S_B dağılım fonksiyonu ile ortaya konmuştur. Parametre tahmini için ise yüzdeler moment metodu esas alınmıştır. Son bölümde ise Toros göknarı meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. Chapman-Richards Log-Logistic, Bailey-Clutter, Lundqvist-Korf ve Hossfeld modelleri test edilmiştir. Toros göknarı meşcereleri için yaş-boy ilişkilerinin ortaya konması amacıyla Chapman-Richards tarafından geliştirilen modelin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gövde çapı modeli, Karışık etkili modelleme, Çap dağılımı, Çap-boy modeli, Bonitet endeksi, Toros göknarı

2019, 152 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DEVELOPMENT OF STEM TAPER, HEIGHT-DIAMETER, DIAMETER DISTRIBUTION AND SITE INDEX MODELS FOR CILICIAN FIR (*Abies cilicica* Carr.) STANDS

Onur ALKAN

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

Supervisor: Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK

Reliable information on the growth and yield of tree species is essential for sustainable management of forest resources. The main components of the growth and yield of tree species; tree volume estimation, diameter-height relationships of trees, diameter distribution of stands and growth yield classification of growth environment. However, in our country, there is very limited information about the growth and yield of Taurus fir stands. For this purpose, in the first part, stem diameter estimation models are developed for estimation of stem diameter, tree height, merchantable volume and total volume for Taurus fir stands. 12 different stem diameter prediction models have been tested and based on criterion values, model developed by Clark et al. (1991) in terms of these four features were found to give the most successful results. In the second part, stem diameter model was developed by using Max and Burkhart (1976) stem diameter model and nonlinear mixed effect modeling approach. For the mixed-effect model, first, the most appropriate random-effect parameter combination was determined and then 10 different calibration alternatives were tested. In the third part, diameter-height models are developed by using Gompertz model for Taurus fir stands, using fixed-effect, calibrated fixed-effect and mixed-effect modeling approach. For the calibrated fixed-effect model and the mixed-effect model, calibration was performed using different tree numbers. In the fourth chapter, the diameter distribution of the Taurus fir stands is presented by Johnson's S_B distribution function. Parameter estimation is based on percentile method. In the last section, dynamic site index models have been developed for Taurus fir stands. Chapman-Richards Log-Logistic, Bailey-Clutter, Lundqvist-Korf and Hossfeld models were tested. It is considered appropriate to use the model developed by Chapman-Richards in order to reveal age-height relationships for Taurus fir stands.

Key Words: Stem taper model, Mixed effects, Diameter distribution, Diameter-height model, Site index, Taurus fir.

2019, 152 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yrtlmesinde desteğini ve emeğini hiğbir zaman esirgemeyen danıőmanım sayın Prof. Dr. Ramazan ÖZÇELİK'e, Tez İnceleme Komitesi yesi sayın hocalarım Prof. Dr. İbrahim ÖZDEMİR'e ve Doç. Dr. İlker ERCANLI'ya ęalıőma süresince bana desteklerinden dolayı teőekkürlerimi sunarım.

YP-05250-D No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler niversitesi ğretim yesi Yetiştirme Programı Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan değerli eőim İrem ALKAN'a ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Onur ALKAN
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Doğal Toros göknarı meşcerelerinin dağılışı.....	34
Şekil 3.2. Gövde çapı modeli geliştirmek amacıyla örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler	35
Şekil 3.3. Toros göknarı için model geliştirme amacıyla kullanılan ağaçların nispi çap-nispi boy ilişkisi (d: gövde çapları, D: göğüs çapı, h: çap ölçüm yüksekliği, H: ağaç boyu, d/D: nispi çap, h/H: nispi boy).....	36
Şekil 3.4. Toros göknarının gövde çapına karşılık toplan ağaç boyunu gösteren dağılım grafiği	38
Şekil 3.5. Gövde analizi amacıyla kesilen ağaçlardan alınan enine kesitler	41
Şekil 3.6. Örnek ağaçlara ilişkin yaş-boy grafiği.....	42
Şekil 4.1. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Clark vd. (1991) modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar).....	75
Şekil 4.2. Gövde çapı tahminindeki en başarılı ve en başarısız üç model	81
Şekil 4.3. Toros göknarı için gövde çapı tahminlerinde ortaya çıkan hataların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği.....	82
Şekil 4.4. Toros göknarı için boy tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği.....	83
Şekil 4.5. Toros göknarı için ticari hacim tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği.....	84
Şekil 4.6. Toros göknarı için toplam hacim tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği	85
Şekil 4.7. Nispi boylar itibariyle sabit etkili ve karışık etkili modeller için hatalar varyansı.....	89
Şekil 4.8. Sabit etkili ve karışık etkili modeller için Lag-hata otokorelasyonu..	90
Şekil 4.9. Toros göknarı için Max ve Burkhart (1976) modeli kullanılarak bir ve iki tesadüfi etkili parametre kombinasyonları için nispi boylar için MSE değerleri.....	91
Şekil 4.10. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili regresyon modellerinin farklı kalibrasyon örneklerinde meydana gelen hata dağılımları	95
Şekil 4.11. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modellerde, her örnek alan için örneklenen ağaç sayısına karşılık olarak değerlendirme istatistiklerinde meydana gelen değişimler	97
Şekil 4.12. Çap dağılımı için gözlenen değerlerin çarpıklık ve basıklık doğruları (β_1 - β_2) arasındaki bölgede meydana getirdikleri dağılım.	102
Şekil 4.13. 14 (a) ve 27 (b) no'lu örnek alan ilişkin gözlemlenen ve tahmin edilen çap dağılımlarının karşılaştırılması	105
Şekil 4.14. 58 no'lu örnek alana ilişkin deneysel dağılım çift modlu ve sola çarpık bir dağılım örneği	106
Şekil 4.15. 34 no'lu örnek alana ilişkin sırasıyla sola çarpık ve tek modlu dağılımlara ilişkin örnek	106
Şekil 4.16. 35 no'lu örnek alana ilişkin sırasıyla sağa çarpık ve tek modlu dağılımlara ilişkin örnek	107
Şekil 4.17. 51 no'lu örnek alanlara ilişkin tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları arasındaki ilişkiler.....	108

Şekil 4.18. 19 (a) ve 71 (b) no'lu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen sağa çarpık ve tek modlu çap dağılımları	108
Şekil 4.19. 83 no'lu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen, gözlemlenen ve uyumlu bir dağılım	109
Şekil 4.20. 28 (a) ve 56 (b) no'lu örnek alanına ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen oldukça farklı çap dağılımları	110
Şekil 4.21. Model 1a için hata dağılımları: modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)	112
Şekil 4.22. Model 1a için standart yaştın seçimine bağlı olarak boy tahminlerinde meydana gelen nispi hatalar	114
Şekil 4.23. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 1a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	115
Şekil 4.24. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 1b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	115
Şekil 4.25. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 2a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	116
Şekil 4.26. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 2b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	116
Şekil 4.27. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 3a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	117
Şekil 4.28. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 3b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	117
Şekil 4.29. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	118
Şekil 4.30. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Gövde çap modellerinin geliştirilmesi amacıyla ölçülen örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikler.	36
Çizelge 3.2. Her iki grup için tanımlayıcı istatistikler	38
Çizelge 3.3. Çap dağılımı modeli geliştirmek için kullanılan verilerin meşcere parametreleri ($n= 83$)	40
Çizelge 3.4. Gövde analizi ve kesilen ağaçlar için nitelendirici istatistikler	42
Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri	45
Çizelge 3.6. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan GADA modelleri ve türetildikleri temel büyüme modelleri	70
Çizelge 4.1. Geliştirilen modeller için parametre tahminleri ve bu tahminlere ilişkin standart hata değerleri	77
Çizelge 4.2. Geliştirilen modeller için ölçüt değerlerinin uyum istatistikleri ve koşul sayıları	79
Çizelge 4.3. Geliştirilen modellerin ölçüt değerleri kullanılarak elde edilen nispi sıralama değerleri	80
Çizelge 4.4. Max ve Burkhart (1976)'ın değişken şekil gövde çapı modelinin farklı tesadüfi değişken kombinasyonları için bazı ölçütlere ilişkin sonuçlar.	87
Çizelge 4.5. 10'lu ağaç gruplarının doğrusal olmayan regresyon modelinin parametreleri için varyasyon katsayıları	87
Çizelge 4.6. Max ve Burkhart (1976)'ın sabit ve karışık etkili değişken şekil gövde çapı modelleri için parametre tahminleri.....	88
Çizelge 4.7 Temel çap-boy modelinin seçimi.....	92
Çizelge 4.8. Tesadüfi parametreler için hesaplanan Akaike'nin Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) değerleri	93
Çizelge 4.9. Sabit ve Karışık etkili modeller için elde edilen parametre tahminleri ve parantez içinde gösterilen standart hataları.....	93
Çizelge 4.10. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modeller için elde edilen boy değerlendirme istatistikleri.....	94
Çizelge 4.11. Johnson's SB dağılımı için parametre tahmin sonuçları	102
Çizelge 4.12. 3-PRM Yöntemi için hata indeksi istatistiklerinin özeti.....	104
Çizelge 4.13. Seçilen 8 farklı büyüme modeli için hesaplanan parametre değerleri ve model performans ölçüt kriterleri	113

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADA	Cebirsel fark yaklaşımı
AIC	Akaike'nin bilgi kriteri
A_i	Dizayn parametresi
AR	Otoregresif model
ARMA	Otoregresif hareketli ortalamalar modeli
BE	Bonitet endeksi
BIC	Bayes bilgi kriteri
CAR	Otoregresif hata yapısı
cm	Santimetre
CN	Koşul sayısı
dbh	Göğüs çapı
$d-h$	Çap-boy
e	Hata
EBLUP	En iyi doğrusal yansız tahminci
EI	Hata indeksi
exp	Üstel fonksiyon
FI	Uyum indeksi
FOCE	Birinci derece koşullu olasılık tahmini
GADA	Genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımı
h_{ij} ve \hat{h}_{ij}	Sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen değerleri
KS	Kolmogorov-Simirnov testi
L	Maksimum likelihood fonksiyonu
M	Çap sınıflarının sayısı,
m	Metre
MAD	Ortalama mutlak fark
MAE	Ortalama mutlak hata
MD	Ortalama fark
mm	Milimetre
MSE	Hata kareler ortalaması
n	Toplam gözlem sayısı
n_i	i örnek alandaki ölçüm sayısı
n_{im}	i .inci ağacın boyu
NLME	Doğrusal olmayan karışık etkili model
NLPLM	Doğrusal olmayan Levenberg-Marquardt yöntemi
NLS	Doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi
NSUR	Doğrusal olmayan görünürde ilişkisiz regresyon tekniği
OLS	En küçük kareler yöntemi
p	Parametre sayısı,
PCT	Yüzdeler tabanlı parametre kurtarma metodu
PDF	Olasılık yoğunluk fonksiyonu
PPM	Doğrudan parametre tahmin metodu
PRM	Moment tabanlı parametre kurtarma yöntemi
R^2	Belirtme katsayısı
RE%	Nispi hata yüzdesi
REML	Kısıtlı maksimum olasılık yaklaşımı
R_i	Nispi sıra
RMSE	Hata kareler ortalamasının karekökü
SD	Standart sapma

TOEP	Toeplitz matrisi
Γ	Korelasyon kalıbı
ε	Konum parametresi
θ	Varyans
λ	Efektif parametre sayısı
$\% \bar{e}$	Ortalama hata yüzdesi
$\% e$	Hata yüzdesi
\bar{h}_i	h_{ij} 'nin ortalama değeri
\hat{y}_i	Tahmin edilen değer
\bar{e}	Ortalama tahmin hatası
s^2	Tahmin hatasının varyansı
\bar{y}	Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması
y_i	Ölçülen değer
-2LL	2 kez negatif logaritmik olabilirlik fonksiyonu



1. GİRİŞ

Türkiye son yıllarda ekosistem tabanlı fonksiyonel planlama yaklaşımını benimseyerek, orman amenajman planlarını bu yaklaşım doğrultusunda hazırlamaya başlamıştır. Bu amaçla, öncelikler ormanların sahip oldukları fonksiyonlar tespit edilmekte, ardından fonksiyon haritaları oluşturulmakta, bu fonksiyon haritalarına göre işletme amaçları belirlenmekte ve planlama sistematığı oluşturulmaktadır. Buna rağmen, ülkemizde ormanların odun üretim fonksiyonu ise hala en üst sırada yer almaktadır.

Ekosistem tabanlı fonksiyonel amenajman planlarının orman kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi temelinde kendisinden beklenen hedefleri gerçekleştirebilmesi için acil olarak büyüme ve hasılat tahmin modellerinin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda ülkemizde, başta asli orman ağacı türlerimiz olmak üzere farklı yetiştirme ortamlarını da temel alan büyüme ve hasılat tahmin modellerinin geliştirilmesi gereklidir. Bu kapsamda meşcerelere ilişkin hacmin ve bu hacim miktarının farklı ticari sınıflara dağılımının doğru tahmin edilmesi, ağaç türlerinin farklı yetiştirme ortamları da dikkate alınarak çap-boy ilişkilerinin ortaya konması, meşcere kuruluşlarının ve buna bağlı olarak odun ürün sınıflarının belirlenmesi ve ağaç türleri için yetiştirme ortamı verimlilik sınıflarının ortaya konması, orman amenajman planlarının düzenlenmesi ve orman ürünleri sanayisinin geleceğine ilişkin projeksiyonlarının yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, çalışma kapsamında Toros göknarı (*Abies cilicica* Carr.) için, gövde çapı modelleri, çap-boy modelleri, çap dağılım modelleri ve bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir.

Ağaçların hacimlerinin doğru bir şekilde ayin edilmesi konusunda mevcut yöntemler arasında en etkin metot gövde profili modelleridir (Jiang vd., 2005). Gövde profili modellerinin diğer önemli bir işlevi ise hasılat modellerine eklenebilmesi, değişik bonitet sınıfları ve farklı planlama seçeneklerinden üretilecek olan ürünlerin nicelik ve niteliklerinin tahminine imkân sağlamasıdır (de-Miguel vd., 2012). Bir ağacın hacminin tahminindeki doğruluk oranı, gövde üzerinde ölçülecek olan çap değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Bir başka deyişle ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir

noktanın çap değeri ne kadar doğru tahmin edilirse, toplam ya da ticari gövde hacmi de o derecede doğru olarak hesaplanabilmektedir.

Literatürde bir ağaç gövdesi üzerindeki herhangi bir noktanın çap tahmininin gerçekleştirilebilmesi için çok sayıda matematiksel denklem geliştirilmiştir (Brooks vd., 2007; Fang vd., 2000; Figueiredo-Filho vd., 1996; Huang vd., 2000; Jiang vd., 2005; Jiang vd., 2007; Kozak, 1988, 2004; Lee vd., 2003; Sharma ve Burkhart, 2003; Sharma ve Oderwald, 2001; Trincado ve Burkhart, 2006). Bu amaçla genellikle 3 değişik yaklaşım tarzı araştırmacılar tarafından uygulanmaktadır. İlk yaklaşım tarzında gövde profili temel bir cebirsel ifade ile tanımlanmıştır (Kozak vd., 1969; Sharma ve Oderwald, 2001). Diğer bir yaklaşım tarzında ise bir ağacın gövde profili farklı geometrik Őekillerle temsil edilerek, dip kısmının nayloid, orta kısmının paraboloid ve son olarak da u kısmının koni olduğu varsayılmış ve bu üç farklı geometrik Şekil katılma noktaları ile birleştirilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşım tarzını benimseyen en önemli araştırmacılar Max ve Burkhart (1976), Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000)'dir. Son yaklaşım tarzında ise gövde profilinin bir noktadan diğerine değiştiği varsayılmıştır. Bu teoride ise tek bir sürekli fonksiyon ile değişken Şekil gövde profili tanımlanmıştır. Bu yaklaşım tarzını kullanan en önemli araştırmacılar Kozak 1988, 2004 ve Newnham (1992)'dir. Daha sonra ise Sharma ve Zhang (2004) benzer Şekilde değişken Şekil gövde profili modelleri geliştirmişlerdir.

Newnham (1988) gövde profili modelleri üzerinde yapılan çalışmaların halden devam etmesinin 2 önemli sebebinin olduğunu belirtmektedir. Bunlardan ilki, var olan tüm orman ağaçları için, gövde profilinde meydana gelen değişimi açıklayabilecek tek bir denklemin bulunmaması, diğeri ise orman ürünlerine olan taleplerin zaman içerisinde değişmesinden dolayı, değişen standartları dikkate alabilecek olan bir yöntemin geliştirilememesidir. Herhangi bir gövde profili modelinin performansı ağaç türüne göre değişkenlikler göstermektedir. Bu nedenle her bir tür ve bu türün farklı yetişme ortamları için farklı model parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Ormancılık alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde 2 farklı kategorideki gövde profili modellerinin başarı ile kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan birincisi değişken Şekil gövde profili modelleridir. Söz konusu bu modeller bir ağacın gövdesinin dipten uca doğru sırasıyla nayloid, kesik paraboloid ve koni Şekilde olduğunu varsaymaktadır düşünülmektedir (Newnham, 1988; Kozak,

1988; Perez vd., 1990). Fakat bu gruptaki modellerin birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bu modeller gövde üzerindeki farklı şekilleri hacim hesabı açısından birleştirilememekte ve gövdenin en ucundaki çap değerini doğrudan hesaplayamayarak, söz konusu bu çap değerinin hesaplanabilmesi için bir iterasyona ihtiyaç duymaktadır. Diğer gruptaki modeller ise parçalı gövde profili (Segmented-polinomial) modelleridir. Bu denklemler ağaç gövdesi üzerindeki değişik noktalarında meydana gelen çap düşüşlerini farklı denklem formları ile açıklayabilmektedir (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991; Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang, 2004; Crecente-Campo vd., 2009). Bu kategorideki gövde profili modellerinin diğer modellere olan diğer avantajı ise, söz konusu modellerin hacim tahmini için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olmasıdır (Fang vd., 2000).

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesiyle ilgili olarak genellikle en küçük kareler yaklaşımı (Nonlinear Least Squares, NLS) kullanılmaktadır. Fakat model geliştirme sırasında ihtiyaç duyulan verilerin elde edilmesi sırasında, aynı ağaç üzerinde yapılan tekrarlı ölçümler, regresyonun kovaryans matrisindeki hata terimlerinin yansız olması gerektiği kuralını ihlal etmektedir. Bu sebeple geçtiğimiz yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde hem yeni model biçimlerinin oluşturulması hem de ağaçların gövde biçimleri arasındaki değişkenliğin belirlenmesi konusunda yeni ve farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda, yeni bir gövde profili modelinin geliştirilmesinde doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı (NLME) kullanılmaya başlamıştır (Gregoire ve Schabenberger, 1995; Fang ve Bailey, 2001). Bu yaklaşım ile bir veri seti içerisindeki bireylerin kendi içinde ve bireyler arasındaki ilişkiyi açıklayabilecek model esnekliği sağlanabilmektedir. Yine bu yaklaşım bile hem sabit etkili hem de tesadüfi etkili parametreler aynı anda tahmin edilebilmektedir. Bu sayede, karışık etkili modelleme yaklaşımı, yeni bir birey için tahmin yapılacağı zaman, bu bireyle ilgili ön bilgilerin bulunması durumunda, diğer modellere göre daha başarılı tahminler yapmaktadır. Bu durumda, mevcut olan ön bilgi ile söz konusu yeni birey için tesadüfi etkili parametre tahmini yapılarak, modelin kalibre edilmesi sağlanmaktadır. Bu özellikleri sayesinde karışık etkili modellerin diğer modellere göre oldukça önemli bir avantaja sahip olduğu söylenebilir. Burkhart ve Tome (2012), karışık etkili modellerin geleneksel regresyon denklemlerine olan üstünlüğünü, karışık etkili modellerin, sabit ve tesadüfi etkili

parametreleri kendi bünyesinde barındırması ve ilişkili verilerin varyans-kovaryans matrislerinin modellenmesine izin vermesi şeklinde açıklamaktadır. Bu sebeple, karışık etkili modeller, ağaç içi ve ağaçlar arası ilişkiyi çok daha iyi açıklayabilmekte ve aynı zamanda modelin sabit etkili parametrelerinin doğru ve yansız bir şekilde tahmin edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Buna ek olarak, karışık etkili modelleme yaklaşımı, eğer henüz örneklenmemiş bir yer için tesadüfi etkili parametre tahmini yapılacaksa, modelin tahmin başarısını olumlu yönde etkilemektedir (Calama ve Montero, 2004; Jiang vd. 2007).

Ulusal literatür incelendiğinde, ağaç türleri ve meşcere yapılarına bağlı olarak bir ormandan elde edilebilecek odun ürünlerinin hacim hesabında kullanılan temel altlıklardan bir olan gövde çapı modelleri ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi konusunda yöresel ölçekte farklı modeller kullanılarak birtakım çalışmalar yapılmıştır (Yavuz, 1995; Yavuz ve Saraçoğlu, 1999; Sakıcı, 2002; Meydan-Aktürk, 2006; Sakıcı vd., 2008; Brooks vd., 2008; Özçelik ve Brooks, 2012; Özçelik ve Bal, 2013, Sakıcı ve Özdemir, 2018). Bunun yanında karışık etkili modelleme yöntemi ile gövde profili modellerinin geliştirilmesi hususunda yapılan çalışmalar ise oldukça azdır (Özçelik vd., 2011; Ercanlı ve Kahrıman, 2013; Şenyurt vd., 2014; Ercanlı, 2015). Tüm bu açıklamalardan yola çıkarak, bu çalışmanın ilk bölümünde Toros göknarı için gövde çapı modelleri geliştirilmiştir. Buna ek olarak, çalışmanın ikinci bölümünde, yine aynı ağaç türü için karışık etkili modelleme yaklaşımı ile gövde çapı modelleri geliştirerek test edilmiştir.

Büyüme ve hasılat modellerinin geliştirilmesi için temel değişken olarak ağaç boyu ve göğüs çapının bilinmesi gereklidir. Bu nedenle, çap-boy modelleri büyüme ve hasılat modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi olarak düşünülmektedir. Çap boy modelleri, ağaç serveti miktarının tahmini, büyüme modelleri, meşcere yapısal çeşitliliğinin ortaya konması, hasılat tahmini (Curtis, 1967; Parresol, 1992), meşcerede meydana gelen çeşitli zarar durumlarının tespiti ve karbon bütçesi modellerinin geliştirilmesi gibi pek çok ormancılık uygulamasında temel değişkenler olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, ağaçlarda göğüs çapının ölçümü hızlı, kolay ve hatasız bir şekilde yapılabilirken, ağaç boyunun ölçümü göğüs çapı ölçümüne göre daha fazla zaman alıcı, zor ve masraflı bir işlemdir (Arabatzis ve

Burkhart, 1992; Zhang, 1997; Fang ve Bailey, 1998; Huang vd., 2000; Sharma ve Parton, 2007; Meng vd., 2009; Diamantopoulou ve Özçelik, 2012; Ercanlı, 2015; Gomez-Garcia vd., 2015; Zhang vd., 2016). Ancak ağaçlarda göğüs çapı ile ağaç boyu arasında güçlü bir ilişkinin varlığı da bilinmektedir. Bu güçlü ilişki yardımı ile hem boy hem de çapı ölçülen ağaçlar kullanılarak çap-boy ilişkilerini ortaya koymak amacıyla modeller geliştirilebilmekte ve bu modeller yardımı ile meşcerede boyları bilinmeyen diğer ağaçların boyları tahmin edilebilmektedir (Larsen ve Hann, 1987; Huang vd., 1992; Robinson ve Wykoff, 2004; Sanchez-Gonzalez vd., 2007; Lei vd., 2009).

Tüm dünyada farklı ağaç türleri için çok fazla sayıda çap (d)-boy (h) modelleri geliştirilmiştir. Kullanılan bu modellere ilişkin detaylı ve kapsamlı bir tanımlama literatürde mevcuttur (Fang ve Bailey, 1998; Peng vd., 2001). d - h modellerinin geliştirilmesinde kullanılan yaklaşımlar genel olarak iki grupta toplanabilmektedir (Zhang vd., 2016). Birinci grup modeller, ağaç boyunun ağacın sadece göğüs çapına bağlı olarak değiştiğini varsaymakta iken, ikinci grup modeller ise, ağaç boyunun ağaç çapı yanında diğer ağaç veya meşcere düzeyindeki değişkenlerle de yakın ilişkisi olduğunu varsaymaktadır. İlk grupta yer alan modelleri geliştirmek için veri elde etme süreci nispeten daha az emek gerektirmekte ve genellikle lokal alanlar için uygulanmaktadır. Bu gruba giren modeller lokal (Soares ve Tome, 2002), temel (Gomez-Garcia vd., 2015) ve basit modeller (Mehtatalo vd., 2015) olarak farklı gruplara ayrılabilir. İkinci gruba giren modeller ise karma (Newton ve Amponsah, 2007), bölgesel (Soares ve Tome, 2002) ve genişletilmiş (Crecente-Campo vd., 2010; Özçelik vd., 2013) modeller olarak gruplandırılabilir. Özellikle birinci gruba giren modeller, meşcereler ve bölgeler arasındaki farklılıkların tanımlanmasında yetersiz kalabilmektedir. Ağaç boyu tahmini için göğüs çapı değişkenine farklı bir ya da birden fazla meşcere değişkeninin eklendiği modeller genelleştirilmiş d - h modelleri olarak isimlendirilmektedir. Gerek birinci grup gerekse ikinci grup modeller geleneksel regresyon modelleri olarak isimlendirilmektedir.

Aynı örnek alan veya meşcere içerisinde bulunan ağaçlar üzerinde gerçekleştirilen tekrarlı ölçümler kendi içinde hiyerarşik bir yapı göstermekte ve dolayısıyla ölçülen değerler arasında yüksek bir korelasyon meydana gelmektedir. Bu durum,

regresyondaki kovaryans matrisinin hata terimlerinin birbirinden bağımsız olması gerektiği kuralını ihlal etmektedir. Ormancılık uygulamalarında, hiyerarşik veri yapısı sıklıkla gözlenen bir durumdur. Özellikle orman envanteri çalışmalarında, veriler; örnek alan olarak adlandırılan ve farklı meşcere yapılarını temsil etmek üzere ormanlık alanlara geçici veya devamlı olarak dağıtılan örnek alanlarda yapılan ölçümler ile elde edilmektedir. Her örnek alanın kendi içinde homojen bir yapıya sahip olduğu fakat farklı örnek alanların ise kendi aralarında heterojen bir yapıya sahip olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple, elde edilen verilerin hiyerarşik bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Aynı örnek alan veya aynı bölge için gözlemler arasındaki yüksek korelasyon probleminin çözümünde karışık etkili modeller kullanılmaktadır (İyit, 2008; Zhang vd., 2016). Karışık etkili modelleme tekniği geleneksel regresyon tekniklerinin aksine hem topluma hem de bireye özgü sonuçların elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Topluma özel model sadece sabit etkili parametrelere sahip iken, bireye özel parametreler hem sabit etkili hem de tesadüfi etkili parametrelere sahiptir. Karışık etkili modelleme tekniği, bu nitelikleri sayesinde yeni bir birey için tahmin yapılması gerekli olduğunda ve elde ön bilgilerin bulunması durumunda geleneksel regresyon tekniklerine önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

Karışık etkili modeller, tahmin gücünü arttırılabilmek için kalibrasyon işlemine imkân sağlamaktadır. Bu amaçla karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak farklı ağaç türleri için çok sayıda *d-h* 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).

Bazı araştırmacılar, çap-boy (*d-h*) modellerinin geliştirilmesi amacıyla doğrusal karışık etkili modelleme tekniğini kullanırken (Lappi, 1997; Jayaraman ve Zakrzewski, 2001; Trincado vd., 2007; VanderSchaaf, 2008; 2012 ve 2014; VanderSchaaf ve Stuhlinger, 2012), bazı araştırmacılar da doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniğini kullanmışlardır (Castedo-Dorado vd., 2006; Calama ve Montero, 2004; Sharma ve Parton, 2007; Adame vd., 2008; Vargas-Larreta vd., 2009; Crecente-Campo vd., 2010; Castano-Santamaria vd., 2013; Özçelik vd., 2013; Gomez-Garcia vd., 2015; Zhang vd., 2016). Bu çalışmanın üçüncü bölümünde

doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği ile Toros göknarı türü için çap-boy modelleri geliştirilmiştir.

Büyüme ve hasılat modellerinin en önemli bileşenlerinden birisi de bir meşceredeki ağaç sayısının çap basamaklarına olan dağılımıdır. Çünkü bir meşcereden elde edilebilecek odun ürününün niteliği ve parasal hasılatın belirlenebilmesi için çap dağılımından faydalanılabilmektedir (Gorgoso vd., 2012). Öte yandan çap sınıfları; meşcere kuruluşu, yaş dağılımı ve meşcere yapısı gibi temel silvikültürel müdahalelerin planlanması konusunda da önemli bilgiler vermektedir. Bununla beraber, üretim çalışmalarında kullanılacak makine ve teçhizatın belirlenmesi konusunda ağaç çapı doğrudan belirleyici bir faktör durumundadır. Sonuç olarak bir meşceredeki çap dağılımının yüksek doğrulukla hesaplanabilmesi, büyüme ve hasılat konusunda yapılan tahminlerin daha tutarlı olması ve amenajman planlarının uygulanabilir olmasına imkân sağlamaktadır. Ormanların yönetimi konusunda alınan kararlar, kaynakların şimdiki ve gelecekteki durumlarına bağlı olarak şekillenmektedir. Ağacın hacmi ve diğer özellikleri ağacın çapına bağlı olduğundan, çap dağılımı bir meşcerenin özelliklerini iyi bir şekilde karakterize edebilmektedir (Bailey ve Dell, 1973).

Gorgoso vd. (2007), çap dağılım modellerinin; meşcere gelişiminin tahmininde, meşcereden elde edilecek odun hasılatının belirlenmesinde ve diğer bazı karar destek mekanizmalarının oluşturulmasında yardımcı olduğunu belirtmektedir. Borders vd. (2008) ise çap dağılımı sayesinde bir meşcereden elde edilecek olan hasılatın zamana bağlı olarak değişiminin ortaya konması ve hacim tahminlerinde kullanılabileceğini ifade etmektedir. Buna ek olarak depolanan karbon miktarı ve biyokütlenin çap basamaklarına dağılımı da çap dağılım modelleri ile elde edilerek, orman amenajman planlarında kullanılabilmektedir.

Uzun yıllardan beri, çap dağılımını belirlemek amacıyla Beta, Lognormal, Johnson's SB ve Weibull dağılımları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür modeller genellikle eşit yaşlı ve doğal meşcerelerde, plantasyonlarda ya da saf meşcerelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Weibull fonksiyonu (Bailey ve Dell, 1973; Borders vd., 1987; Maltamo vd., 1995; Zhang vd., 2003; Palahi vd., 2006; Palahi vd., 2007; Gorgoso vd., 2007 ve 2012; Lei, 2008; Diamantopoulou vd., 2015) ve Johnson's S_B

fonksiyonu; Parresol, 2003; Scolforo vd., 2003; Fonseca, 2004; Furtado, 2006; Fonseca vd., 2009), gibi dağılım modelleri diğer modellere kıyasla daha esnek bir model yapısını sahip olduğundan dolayı, ormancılık çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. S_B dağılımı, Johnson (1949) tarafından geliştirilmiş olup, bünyesinde barındırdığı özellikler nedeniyle biyolojik değişkenlerin açıklanmasında ya da temsil edilmesinde, diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Her iki ucu da sınırlandırılmış olan bu modelin diğer dağılımlara göre daha geniş dağılım şekillerini açıklamaya yarayacak esnekliğe sahip olduğu ve dağılımın biçimini kontrol etmeye imkân sağlayan iki adet parametresinin olduğu bilinmektedir. Zaman içerisinde yapılan farklı birçok çalışmada Johnson's S_B dağılımının diğer modellere kıyasla çap dağılımı konusunda daha başarılı olduğu belirtilmektedir (Gadow, 1983; Tham, 1988; Scolforo ve Thierschi, 1998; Kiviste vd., 2003; Parresol, 2003; Siipilehto ve Siitonen, 2004; Zhang vd., 2003; Fonseca, 2004; Lei, 2008; Fonseca vd., 2009; Mateus ve Tomé, 2011). Johnson's S_B dağılımının parametrelerinin tahmin edilmesi konusunda çeşitli parametre tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar arasında, yüzdelerik değer, moment ve şartlı olasılık fonksiyonu ile doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri sayılabilir.

Johnson's S_B dağılımı, çap dağılımı (Hafley ve Schreuder, 1977; Gadow, 1983; Tham, 1988; Scolforo ve Thierschi, 1998; Kiviste vd., 2003; Parresol, 2003; Fonseca, 2004), hacim oran dağılımı (Newberry ve Burk, 1985) ve boy dağılımı (Hafley ve Schreuder, 1977) konusunda kullanılmıştır. Bu çalışmanın dördüncü bölümünde, Toros göknarı meşcereleri için çap dağılım modelleri geliştirilmiştir.

Ülkemizde orman amenajman planları hazırlanırken; planlama birimi içerisindeki meşcerelerin yetişme ortamı verim gücü değerlerinin belirlenmesi, planlamanın ilk basamağını oluşturmaktadır. Planlamanın hesap ve karar aşamalarında temel oluşturma niteliğine sahip bu değerlerin doğru ve hassas bir şekilde hesaplanması, nitelikli ve sürdürülebilir planların oluşturulması, dolayısıyla ormanların doğru bir şekilde yönetilmesi hususunda önem arz etmektedir.

Meşcere boy gelişiminin, yetişme ortamının iyi olduğu ortamlarda daha iyi olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, yetime ortamı verim gücü konusunda yapılan tahminlerde

genellikle meşcere boyu kullanılmaktadır. Ancak meşcere orta boyunun yapılan silvikültürel müdahalelerden etkilenmesi dolayısıyla, verim gücü çalışmalarında meşcere üst boyu kullanılmaktadır (Clutter ve Belcher, 1978; Seki, 2015). “Bonitet endeksi” olarak adlandırılan ve standart yaştaki üst boy olarak nitelendirilen bu değişken, bir ormanın verimliliğinin değerlendirilmesi konusunda sıklıkla kullanılan bir değişkendir (Clutter ve Belcher, 1978; Carmean ve Lenthall, 1989; Payandeh ve Wang, 1994). Bununla beraber, meşcere büyüme modellerinde ormanın verimlilik derecesinin açıklanabilmesi için de bonitet endeksi yaygın olarak kullanılmaktadır (Gadow ve Hui, 1999; Seki, 2015).

Ormancılık alanında, yetişme ortamı verim gücünün belirlenebilmesi için öncelikle uygun bir büyüme modeli seçilmekte ve söz konusu modelin geliştirilmesi için bir standart yaş değeri belirlenmektedir. Geleneksel yöntemlerle yapılan bonitetleme işlemlerinde, başta belirlenen standart yaşa bağlı tahminler yapılabilmektedir.

Ülkemiz ormancılığında uzun idare süresine sahip meşcerelerde standart yaş değeri 100 yıl olarak kabul edilirken, kısa idare süresine sahip meşcerelerde ise bu değer 50 yıl olarak belirlenmektedir. Uluslararası literatür incelendiğinde ise, diğer bazı ülkelerde standart yaş değeri 20, 40, 80 yıl gibi farklı değerler alabilmektedir (Seki, 2015).

Piyasa taleplerine ve yetişme ortamlarına göre idare süresinin değişkenlik gösterebileceği göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel bonitetleme yöntemleri yerine, standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip GADA (Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı) modellerinin kullanılmasının yerinde bir karar olacağı düşünülmektedir. Bu amaçla, çalışmanın son bölümünde Toros göknarı meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir.

1.1. Toros Göknarı (*Abies cilicica* Carr.) Türüne Ait Genel Bilgiler

1.1.1. Türkiye'deki yayılışı

Toros göknarı ana yayılışını genelde sarp, yüksek ve karstik araziler halindeki batı ve orta Toros silsileleri ile Amanos Dağları üzerinde yapmaktadır (Bozkuş, 1987).

Yüksek dağ kademelerindeki ibreli rejyonda ve özellikle sahile yakın dik yamaçların denize bakan taraflarında ve stebe yakın yerlerde sadece deniz etkisi altındaki alanlarda yayılmaktadır. Doğu Akdeniz Bölgesinde (Mersin, Adana, Maraş, Hatay) yayılış gösteren ve tomurcukları reçinesiz genç sürgünleri tüylü olan formuna *Abies cilicica* subsp. *cilicica*; Batı Akdeniz Bölgesinde (Antalya-Konya arasında) yayılış gösteren ve tomurcukları reçineli, genç sürgünleri tüysüz olan formuna *Abies cilicica* subsp. *isaurica* adı verilmiştir (Bozkuş, 1987). Toros dağlarında *Cedrus libani*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Pinus brutia*, *Arceutros drupacea*, *Juniperus drupacea*, *Juniperus excelsa*, *Fraxinus ornus*, *Quercus libani* ile karışık meşcereler kurarlar. (Bozkuş, 1987)

1.1.2. Botanik özellikleri

Toros göknarı 25-30 m boylanan 70 cm kadar çap yapabilen her dem yeşil birinci sınıf orman ağacıdır. Genç ağaçlarda piramidal olan tepe tacı, yaşlı ağaçlarda silindirik-konik şeklini alır. Kabuk gri veya koyu gri renkte olup, genç bireylerde pürüzsüz gövde formuna sahip iken yaşlı bireylerde derin çatlaklıdır (Bozkuş, 1987).

İğne yapraklar seyrek, yassı ve ince olup 20-40 mm uzunluğunda açık yeşil renktedirler. Yaprak uçları küt veya hafif kertiklidirler. Yaprakların üst yüzleri parlak koyu-yeşil alt yüzlerinde yeşilimsi- beyaz renkte mumlu 2 adet stoma bandı yer almaktadır (Bozkuş, 1987).

Türkiye'deki doğal göknar türlerinin en büyük kozalaklısıdır; 15-25 cm boyunda ve 4-6 cm çapındadır. Silindiriktir ve üzerleri bol reçinelidir. Bu reçineler yerli halk tarafından sakız gibi çiğnenmektedir.

1.1.3. Silvikültürel özellikleri ve meşcere kuruluşları

Toros Göknarı, sipere ihtiyaç duyduğu için başlangıçta yavaş büyür. 30-35 yaşlarından itibaren büyümesi hızlanır. Tipik bir gölge ağacıdır. Karışık meşcerelerde ara ve alt tabakada sekonder bir meşcere görüntüsü verir. Kuzey bakılarda 1100-1250 m, güney bakılarda 1450-1550 m`lerde karaçam, sedir, ardıç, meşe, dişbudak ile karışık orman oluşturur. Saf orman oluşturduğu yöreler de vardır.

Geçirgen ve nemli toprak seven Toros göknarı, kalkerli ve karstik arazilerde çok iyi büyüme gösterir. Kazık kök sistemine sahiptir. Çimlendiği ilk yıl kökçük 15-20 cm ulaşır. İkinci yıl kökün derinliklere doğru inmesi yavaşlar. Yan ve kılcak köklerin oluşumu görülür.

1.1.4. Anatomik ve teknolojik özellikleri

Diri odun ve öz odun arasında renk farkı yoktur. Olgun odun özellikleri sarımsı beyaz ile hemen hemen beyaz renktedir. Islak öz odun oluşumu bulunduğu anda öz odun kısmının koyu bir renk aldığı görülür. Mantar ve böceklere maruz kalabilir. Dayanısızdır. Diri odun kolay, öz odun orta derecede empenye edilir. Hızlı bir şekilde kurutulabilir. Yarılmaya ve çatlama eğilimi azdır. Bununla beraber budaklar çatlayabilir ve düşebilir. Binalarda iç kısımlarda, marangozluk ve doğramacılıkta, kutu ve sandık yapımında, ara tabakalarda, lif kâğıt odunu olarak, kontrplak endüstrisinde iç tabakalarda kullanılır (Bozkuş, 1987).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma kapsamında ulusal ve uluslararası literatürde yer alan gövde çapı modelleri konusunda yapılmış çalışmalardan bazıları yıl sırasına göre aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Demaerschalk (1972), geliştirdikleri gövde çapı ve gövde hacim denklemlerin integrallerini almak suretiyle, denklem sistemlerini uyumlu hacim denklem sistemlerine dönüştürmüşlerdir.

Max ve Burkhart (1976), parçalı gövde çapı modeli olarak nitelendirdikleri denklem sistemlerinde, ağaç gövde formunu üç farklı geometrik şekil olarak tanımlamışlardır. Araştırmacılara göre, ağaç gövdesinin en alt kısmı nayloid, orta kısmı kesik paraboloid ve en üst kısmı ise koni şeklindedir. Bu amaçla her üç farklı bölüm için farklı polinomiyal regresyon denklemleri geliştirerek, bu denklemleri de iki farklı katılma noktası ile birleştirmişlerdir.

Cao vd. (1980), çeşitli farklı denklem sistemlerini deneyerek, *Pinus teada* ağaç türünün gövde çapı ve hacim tahmini amacıyla kullanılmak üzere, en uygun denklem sistemlerini belirlemişlerdir.

Clutter (1980), ticari hacim denklemi ile uyumlu bir gövde çapı modeli geliştirebilmek için ticari hacim oran denklem sisteminin, gövde çapına göre diferansiyelini alarak yeni bir denklem sistemi geliştirmiştir.

Monserud (1981), ticari gövde hacmini tahmin ederken, hacim oranı veya gövde çapı modellerinin bulunmaması halinde, her bir ağaç için Behre hiperbolü oluşturup integralini almak suretiyle ticari hacim tahmini gerçekleştirmiştir.

Biging (1984), Chapman-Richard fonksiyonundan türettiği bir gövde çapı modelini, altı farklı ağaç türünün gövde çaplarını tahmin etmek amacıyla kullanmıştır. Bunun yanında parçalı bir gövde çapı modeli olan Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model ile elde ettiği sonuçları karşılaştırmıştır. Bununla beraber, gövde çapı denkleminin integralini almak suretiyle gövdenin toplam hacmini de

hesaplayarak, elde ettiği sonuçları Schumacher-Hall hacim denklemi ile elde edilen sonuçlarla mukayese etmiştir.

Reed ve Green (1984), 4 farklı hacim fonksiyonunu kullanarak, hacim, uyumlu gövde çapı ve hacim oran fonksiyonları geliştirmek amacıyla elde ettikleri sonuçlarla model başarılarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları mukayese sonucunda, kullandıkları 4 modelin de benzer tahmin başarısına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Green ve Reed (1985), Karayip çamı ile uyumlu gövde çapı, hacim ve hacim oran fonksiyonları geliştirmişlerdir. Çalışma neticesinde, ticari hacim tahmininde, herhangi bir çap veya boy için hacim oran fonksiyonlarının başarılı bir şekilde kullanabileceği sonucuna varmışlardır.

McClure ve Czaplewski (1986) ise Cao vd. (1980) tarafından geliştirilen gövde profili denklemini daha büyük bir veri seti ile kullanarak, Loblolly çamı ile uyumlu gövde çapı ve gövde hacim sistemi geliştirmişlerdir.

Biging (1988), Huber, Newton, Smalian ve Cubic Spline formülleriyle elde edilen tomruk hacim değerlerini karşılaştırarak, en iyi sonucu veren formüllerin Newton ve Huber formülleri olduğu sonucuna varmışlardır.

Czaplewski ve McClure (1988), Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelini, göğüs çapına ek olarak 5.3 m yükseklikteki çap değeri ile birlikte kullanmışlardır. Bu şekilde oluşturdukları yeni modelin hata varyansı ve ortalama hata değerlerini incelemek suretiyle bir karşılaştırma yapmışlardır. Çalışma sonucunda hata varyansında %10 ila %25 arasında bir azalma meydana gelirken, ortalama hata değerlerinde ise önemli bir fark meydana gelmemiştir.

Farrar ve Murphy (1988), Bennet vd. (1978) tarafından geliştirilen denkleme tepe oranını eklemek suretiyle gövde çapını tahmin eden yeni bir denklem sistemi geliştirmişseler de eklenen bu değişkenin, modelin başarı oranını önemli derecede arttırmadığını fark etmişlerdir.

Czaplewski vd. (1989), gümüş göknar, Alpin göknarı, gümüş ladin, Kontorta çamı, Batı sarıçamı, Douglas göknarı ve Amerika titrek kavağı olmak üzere toplamda 7 farklı ağaç türünde gövde çapı tahmini için Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modelini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, söz konusu modelin ölçülen değerlere oranla pozitif yönlü sapma gösterdiği anlaşılmıştır. Söz konusu sapmanın giderilmesi için ise iki aşamalı bir modelin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Newberry vd. (1989), tek ağaç için hacim oran eşitlikleri geliştirebilmek amacıyla, şekli bilinen klasik geometrik şekillerin hacim formüllerinden yararlanmıştır. Paraboloid ve koni şeklinde geometrik şekillerin hacim formüllerine göğüs çapı değerinin eklenmesiyle parametresi olmayan iki farklı fonksiyon geliştirmiştir. Çalışma sonucunda parametrelili denklemlere yakın sonuçlar veren bu fonksiyonların, veri sayısının yetersiz olduğu alanlarda rahatlıkla kullanılabilceğini belirtmiştir.

Solomon vd. (1989), toplam gövde hacmi ve gövde çapı tahmininde kullanılmak üzere, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen fonksiyonlar ile gövde analizi için kullanılan verileri beraber kullanmak suretiyle, göknar ve ladin ağaç türleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda çaplarla gerçek hacim değerleri mukayese edilmiş, ortaya çıkan farkların ise önemsiz olduğu sonucuna varılmıştır. Araştırmacılar, hacim fonksiyonuna ek olarak, gövde çapı fonksiyonunun da rahatlıkla kullanılabilceğini önermişlerdir.

Perez vd. (1990), yumurta kozalaklı çam türü için gövde çapının tahmininde “Değişken şekil çap fonksiyonu”nu kullanmışlardır. Gövde şeklindeki formun nayloyidden paraboloid geçiş noktalarının tespit edilmesi amacıyla yapılan değerlendirmeler sonucunda, toplam ağaç boyunun $\frac{1}{4}$ 'ünün en iyi sonucu verdiği sonucuna varılmıştır.

Newnham (1992), Banks çamı, Kontorta çamı, Beyaz ladin ve titrek kavak olmak üzere 4 ağaç türü için gövde çapı ve toplam gövde hacminin tahmininde bulunmak üzere Kozak (1988) tarafından geliştirilen model üzerinden birtakım modifikasyonlar yaparak geliştirdikleri denklem sistemini, Max ve Burkhart (1971) tarafında

geliştirilen model ile karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda modifiye edilmiş Kozak (1988) modelinin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Muhairwe (1994), Konkorta çamı türünün gövde formu ve zamana bağlı olarak gelişen çap değişimlerini, gövde analizi yöntemiyle analiz etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda gövde formu ve çap değerlerinde meydana gelen değişimlerin, ağacın türü, meşcere sıklığı ve bonitet endeks değerleri ile kuvvetli derecede ilişkili olduğu sonucuna varmıştır.

Yavuz (1995), sarıçam ve karaçam ağaç türü için kabuklu ve kabuksuz gövde hacmi, uyumsuz gövde çap fonksiyonları ve hacim oran fonksiyonları geliştirmiştir.

Figueiredo-Filho vd. (1996), Loblolly çamı ağaç türünde gövde çapı tahmininde bulunmak üzere Kozak vd. (1969), Max ve Burkhart (1976), Parresol vd. (1987), Clark vd. (1991) ve beşinci dereceden bir polinomial denklem olmak üzere toplamda 5 farklı denklem sistemini test etmişlerdir. Çalışma sonucunda yapılan değerlendirmede Clark vd. (1991) tarafından geliştirilmiş olan modelin daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

Trincado vd. (1996) yaptıkları çalışmada, *Quercus robur* türü için gövde çapının belirlenmesi amacıyla çeşitli modelleri test etmişlerdir. Çalışma kapsamında amaçla Kozak vd. (1969), Demaerschalk (1973) ve Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilmiş olan gövde çapı denklemleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ise Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilmiş olan gövde çapı denkleminin, çap tahminlerinde daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kozak (1997), gövde çapı denklem sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan çoklu bağıntı problemi ile otokorelasyonun etkilerini analiz etmek amacıyla Monte Carlo Simülasyon Tekniğinden faydalanmıştır. Çalışma sonucunda kuvvetli bir çoklu bağıntı sorunu ve otokorelasyonun varlığında bile yapılan tahminlerin herhangi bir sistematik hata içermediği sonucuna varılmıştır.

Bi ve Hamilton (1998) tarafından yapılan çalışmada, kabuksuz hacim fonksiyonları geliştirmek amacıyla 25 farklı ağaç türü üzerinde çalışmışlardır. Buna ek olarak, bu

25 ağaç türü için herhangi bir yükseklik noktasına kadar olan hacmin, toplam hacme oranını veren trigonometrik hacim oran denklemleri oluşturmuştur.

Tasissa ve Burkhart (1998) yaptıkları çalışmadan *Pinus taeda* için gövde profili modeli geliştirmek amacıyla karışık etkili modelleme yaklaşımından faydalanmışlardır. Veri setindeki otokorelasyonun elimine edilebilmesi için ise doğrusal olmayan karışık etkili modelle yaklaşımını tercih etmişlerdir.

Fang ve Bailey (1999), toplamda yirmi üç ağaç türü üzerinde, çap, hacim ve hacim oran fonksiyonları geliştirmişlerdir.

Muhairwe (1999), iki farklı okalıptüs türü için geliştirdiği gövde çapı denklem sistemlerini, Kozak (1988), Max ve Burkhart (1971) ve Gordon (1983) tarafından geliştirilen gövde profili sistemleri ile kıyaslamıştır. Geliştirilen denklem sistemlerinden birincisinde, değişken olarak, çap, boy ve ağacın değişik bölümlerinden ölçülen boy değerleri kullanılmıştır. İkinci denklem sisteminde ise, çap ve ağacın değişik noktalarından ölçülen boy değerleri değişken olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilk modelin diğerine oranla daha başarılı tahminler yapabildiği görülmüştür.

Huang vd. (1999), Kanada ladini ağaç türü için gövde çapının ve gövde hacminin tahmini için değişken eksponent gövde çapı fonksiyonları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda oluşturdukları gövde çapı denklemleri ile oldukça başarılı sonuçlar (toplam varyansın yaklaşık olarak %99'u) elde ettiklerini belirlemişlerdir.

Figueiredo-Filho ve Schaaf (1999), literatürde sıklıkla kullanılan Max ve Burkhart (1976), Cao vd. (1980), Schlaegel (1983), Clark vd. (1991) ve 5. derece bir polinomial denklemlerin verdiği tahmin sonuçlarını, tomrukların hacimlerini suda ölçme tekniğine dayanan ksilometre yöntemi ile elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırdığı çalışmada, başarı performansı en yüksek olan modellerin, Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen modeller olduğunu tespit etmişlerdir.

Yavuz ve Saraçoğlu (1999), adi kızılâğaç türü için uyumlu ve uyumsuz gövde profili modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda Kozak (1988) tarafından geliştirilen

modelin, sadece gövde hacminin tahmin edildiği durumlarda daha başarılı olduğu sonucuna varılırken, gövde hacminin yanında hacim oranı ve gövde çapının tahmin edildiği durumlarda ise Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen modelin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bi (2000), trigonometrik hacim denklemlerinden faydalanarak, trigonometrik değişken şekil gövde profili modelleri geliştirmiştir. Geliştirdiği denklem sistemini ise yirmi beş farklı ağaç türü üzerinde deneyerek, elde ettiği sonuçlarla en başarılı modelin Kozak (1988) tarafında geliştirilen model olduğu sonucuna varmıştır.

Coble ve Wiant (2000), Loblolly çamı ve Batı sarıçamı ağaç türleri için basit ve karmaşık gövde profili denklem sistemlerini kıyaslamışlardır. Yapılan çalışma neticesinde ise karmaşık denklem sistemlerinin daha başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Fang vd. (2000), Loblolly çamı ve slash çamı ağaç türleri için gövde çapı ve taciri hacim tahminleri yapmak üzere diferansiyel eşitliklerden faydalanmışlardır. Bu çalışma ile gövde çapı, ticari hacim ve toplam hacim değerlerini tahmin edebilen parçalı bir gövde profili modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma aynı zamanda literatürde diğer araştırmacılar tarafından da sıklıkla kullanılan bir denklem sistemi haline gelmiştir.

Bi ve Long (2001), Monteri çamı için trigonometrik değişken şekil gövde profili modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modeli ayrıca dokuz farklı denklem sistemi ile karşılaştıran araştırmacılar, geliştirdikleri modelin karşılaştırdıkları diğer modeller arasında en başarılı sonuçları verdiğini belirtmişlerdir.

Sakıcı (2002) tarafından yapılan çalışmada Kastamonu yöresinde yayılış gösteren Uludağ göknarı (*Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana*) ağaç türü için gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran fonksiyonları geliştirilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, Kozak (1988) tarafından geliştirilen model ile elde edilen sonuçların en başarılı sonuçlar olduğunu belirtmiştir. Buna karşın, bağımsız bir veri seti ile yapılan test sonucunda ise Allen (1993) tarafından geliştirilen modelin daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

Lee vd. (2003) yaptıkları çalışmada Kore’de yayılış gösteren Japon kızılçamı ağaç türü için gövde profili sistemleri geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile ağaç gövdesinde meydana gelen değişimler başarılı bir şekilde ortaya konmuştur. Ayrıca geliştirilen denklem ile elde edilen sonuçlar Max ve Burkhart (1976) ve Kozak (1988) tarafından geliştirilen denklemler ile kıyaslanmıştır.

Sharma ve Burkhart (2003), modellerde kullanılan parametre sayısının azaltılması amacıyla yaptıkları çalışmada temel model olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen modeli kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, model katılma noktalarının, ağaç boyunun %11 ila %75’inde olması durumunda, çap tahminlerinde, 4 parametrelili modelin, 6 ve 8 parametrelili modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Rojo vd. (2005), yaptıkları çalışmada İspanya’nın kuzeyinde yer alan Galicia bölgesinde yayılış gösteren sahil çamı türü için gövde profili modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında otuz bir farklı gövde profili modeli ile analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda ise Kozak (2004) tarafından geliştirilen modelin tahmin başarısının diğer modellere göre yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Meydan-Aktürk (2006), Artvin yöresinde yayılış gösteren Doğu ladini ağaç türü için gövde profili modelleri geliştirmiştir. Çalışma kapsamında ise Bi (2000) tarafından geliştirilen trigonometrik gövde profili modeli temel model olarak kullanılmıştır.

Dieguez-Aranda vd. (2006), İspanya’nın Kuzeybatısında yayılış gösteren sarıçam ağaç türü için uyumlu gövde profili modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında toplamda 14 farklı gövde profili denklemi test edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin, gövde çapı, ticari hacim ve toplam hacim tahmininde, diğerlerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Brooks vd. (2007) yaptıkları çalışmada, *Pinus palustris* türü için gövde çapı, hacim ve biyokütle tahmini yapabilecek modeller geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemi kullanılmıştır. Her üç kategorideki denklem için parametre tahminleri aynı anda

gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ilgili ağaç türü için çap, hacim ve biyokütle tahmininin düşük hata yüzdeleri ile gerçekleştirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Corral-Rivas vd. (2007), Meksika’da gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında Biging (1984), Kozak (2004) ve Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen gövde profili denklemlerini kullanarak, bölgedeki temel ağaç türleri için ticari hacim tahmininde bulunan modeller geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda ise Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen gövde profili modelinin en başarılı sonuçları verdiği ifade edilmiştir.

Klos vd. (2007), Kanada ‘da gerçekleştirdikleri çalışmada, söz konusu bölgede yayılış gösteren beş farklı ağaç türünün gövde çapı tahmini için denklemler geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında temel model olarak Kozak (1988) tarafından geliştirilmiş olan denklem kullanılmıştır. Çalışma neticesinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilirken, her bir ağaç türü için farklı parametre tahminlerinin yapılması gerektiğinin altı çizilmiştir.

Barrio-Anta vd. (2007), yaptıkları çalışma kapsamında, İspanya’nın Kuzeybatısında yayılış gösteren saplı meşe ağaç türü için Tasissa vd. (1997), Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen hacim ve çap tahmini denklemlerinden faydalanarak, söz konusu ağaç türü için ticari hacim ve gövde çapı denklem sistemleri geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin ticari ve toplam hacim ile boy tahmininde daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

Brooks vd. (2008), yaptıkları çalışma ile Türkiye’deki *Cedrus libani*, *Pinus brutia* ve *Abies spp.* ağaç türleri için gövde çapı ve gövde hacmi tahmini yapabilen modeller geliştirmişlerdir. Bu amaçla, çalışma kapsamında Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemini kullanılmıştır. Bu çalışma ile Türkiye’de ilk defa farklı ağaç türlerinin çap ve hacim tahmini için ortak parametre tahminleri geliştirilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları ise her bir ağaç türü için geliştirilen hacim denklemleri ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Behre ve Arnoldsson (2008), yaptıkları çalışma kapsamında Etiyopya’daki Goa Sediri plantasyonları için 7 farklı gövde profili modelini kıyaslamışlardır. Çalışma

neticesinde Kozak (1988) tarafından geliştirilmiş olan gövde çapı denklemi en başarılı sonuçları vermiştir. Lee vd. (2003) tarafından geliştirilen model ikinci sırada yer alırken, Kozak (2004) tarafından geliştirilen model ise en başarılı üçüncü model olarak belirlenmiştir.

Cao (2009) çalışmasında bir ağaç gövdesi üzerinde yükseklerde kalan çap değerlerinin ölçümünün artık gelişen teknolojik aletler yardımı ile daha kolay olduğu ifade edilmiştir. Bu ölçülen çap değerlerinin bir ağaç gövdesi boyunca yapılacak çap tahminlerinin doğruluğunu arttırmak amacıyla kalibrasyon için kullanılabileceği ifade edilmiştir. Bunun mümkün olup olmadığı, *Pinus teada* plantasyonlarından alınan örnek ağaçlar kullanılarak test edilmiştir. Bu amaçla, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemi kullanılmıştır. Kalibrasyon işleminin sadece göğüs çapı için yapıldığında ortaya çıkan iyileşmenin kalibrasyonun hem göğüs çapı hem de ekstra çap için yapıldığında ortaya çıkan iyileşmeden daha kötüdür.

Yang vd. (2009) doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanarak *Picea glauca* için değişken şekil gövde çapı modeli geliştirmiştir. Çalışmada ağaç içi varyasyon üç tesadüfi parametrenin eklenmesi durumunda en iyi açıklanmıştır. Hatalara ilişkin homojen olmayan varyans göğüs çapının üssel fonksiyonu ile ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Ağaç içi hatalara ilişkin otokorelasyon problemi ise kovaryans yapısı ile modellenmiştir. Model çözümü ise TOEP (4) ve uzaysal üssel yapı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gövde çapı ve gövde hacim tahminlerinin doğruluğu bağımsız veri seti yardımı ile test edilmiştir. Kalibrasyon işlemi için her ağaçta bir veya iki ekstra çap ölçümü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, TOEP (4)'ün uzaysal üssel yapıya göre seksiyon ve gövde hacmi tahminleri ile çap tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmüştür.

Crecente-Campo vd. (2009) sarıçam ağaç türü için ticari hacim tahminine imkân veren denklem sistemleri geliştirmişlerdir. Bu kapsamda, birbirinden ekolojik olarak farklı özellikler gösteren 6 ayrı örnek alan belirlenerek, 2 farklı gövde çapı modeli kıyaslanmıştır. Çalışma neticesinde, en iyi sonuçlar veren modelin Fang vd. (2000) tarafından geliştirilmiş olan denklem olduğu sonucuna varılmıştır.

Pompa-Garcia vd. (2009), Kozak (1988), Bi (2000) ve Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modellerden faydalanarak, Meksika-Chihuahua bölgesinde yayılış gösteren meşe ağaç türü için ticari hacim denklem sistemleri geliştirmişlerdir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ise ticari hacim tahmini için en başarılı sonuçların, Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen model ile elde edildiği görülmüştür.

Li ve Weiskittel (2010), yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Amerika'da yayılış gösteren önemli çam türleri için gövde çapı ve gövde hacmi denklemleri geliştirmişlerdir. Bu amaçla farklı gövde çapı ve gövde hacmi modelleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ise çap ve hacim tahminlerinde en başarılı modellerin, Kozak (2004) ve Bi (2000) tarafından geliştirilen modeller olduğu anlaşılmıştır. Bunun yanı sıra hacim tahminlerinde ise Clark vd. (1991) tarafından geliştirilmiş olan denklemin daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Özçelik vd. (2011) yaptıkları çalışmada ise, Türkiye'deki üç (Sedir, kızılçam ve Toros göknarı) farklı ağaç türü için karışık etkili modelleme yaklaşımını kullanılarak gövde profili modeli geliştirilmiştir. Çalışmada Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş olan denklem kullanılmıştır. Çalışmada veri yapısında bulunan otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılabilmesi için birinci derece otoregresif hata yapısı kullanılmıştır. Yine çalışmada en uygun sabit ve tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesi için çeşitli alternatifler test edilmiştir. Daha sonra yeni bir ağaç için gözlem yapılması gerektiğinde bir ve iki ekstra gözlem durumunda ortaya çıkan başarı durumları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, birinci derece otoregresif hata yapısı eklenen durumlarda otokorelasyon probleminin hemen hemen ortadan kalktığı görülmüştür. Yeni bir ağaç için gözlem yapılması gerektiğinde ise, iki ekstra ölçümün bir ekstra ölçüme göre nispeten daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür.

Cao ve Wang (2011), gelişen teknoloji sayesinde ağaç gövdesi üzerindeki çapların artık daha doğru ölçülebildiği ifade edilmiştir. Yeni bir ağaç için kalibrasyon yapılması gerektiğinde ve daha doğru çap tahminleri yapmak için ağaç boyunun ortasındaki çap değerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Çalışmada loblolly çam plantasyonlarından elde edilen örnek ağaçlar kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı

yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan birincisi parametre kısıtı ile parçalı gövde çapının kalibrasyonu, ikincisi ise her ağaç için tesadüfi etkili parametre ile gövde çapı tahminidir. Birinci alternatif hem daha basit olması hem de daha az yanlış tahminleri nedeniyle tavsiye edilmiştir.

Fonweban vd. (2011), yaptıkları çalışmada Sitka ladini (*Picea sitchensis*) ve sarıçam (*Pinus sylvestris*) ağaç türü için gövde profili denklemleri geliştirmişlerdir. Çalışma için gerekli olan verileri ise İngiltere'nin Kuzeyindeki bölgelerden ve İskoçya'dan elde etmişlerdir. Çalışma kapsamında 3 farklı değişken şekilli gövde profili modeli test edilirken karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılmıştır.

Gomat vd. (2011), yaptıkları çalışmada *Eucalyptus* spp. ağaç türünün gövde formunda meydana gelen çap değişimleri ile çevresel faktörler ve orijin arasındaki ilişkileri ortaya koymaya çalışmışlardır. Çalışma kapsamında on altı farklı orijinden gelen ağaçlardan topladıkları veriler ile Saint-Andre vd. (2002) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili modelini kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ise, orijinin ve çevresel faktörlerin, ağacın gövde formundaki çap değişimleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Heidarsson ve Pukkala (2011), İzlanda'da yayılış gösteren Kontorta çamı ve Sibirya melezi ağaç türleri için gövde profili modeli geliştirmeyi amaçlayan çalışmalarında, Biging (1984), Kozak (1997) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen gövde profili modellerinden yararlanmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde, Kozak (2004) tarafından geliştirilmiş olan denklemin diğer denklemlere göre daha iyi tahmin başarısının olduğu belirtilmiştir.

Li vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Amerika'da yayılış gösteren on bir çam türü için geliştirdiği gövde profili modelinde, temel model olarak Kozak (2004) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili modelini kullanmıştır. Geliştirdikleri denklem sistemiyle elde ettikleri sonuçları ayrıca, Westfall ve Scott (2010) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili modeliyle elde ettikleri sonuçlar ile kıyaslamışlardır. Yapılan mukayese sonucunda, Kozak (2004)'ın daha başarılı sonuçlar ürettiği ifade edilmiştir.

Özçelik ve Brooks (2012), ülkemizin önemli çam türleri için uyumlu gövde çapı ve hacim denklemleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Max ve Burkhart (1976) ve Clark vd. (1991) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar, daha sonra çift girişli hacim tablosu ve Spurr hacim formülü ile elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda, Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen modelin çok daha başarılı sonuçlar verdiği ifade edilmiştir.

Quinonoz-Barraza vd. (2014), Meksika’da yapmış oldukları çalışma kapsamında, söz konusu bölgede yayılış gösteren asli çam türleri için gövde profili ve hacim denklem sistemleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında Max ve Burkhart (1976), Clark vd. (1991) ve Fang vd. (2000) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemleri kullanılmış, yaptıkları istatistiksel analiz sonucunda ise Fang vd. (2000) tarafından geliştirilen modelin hem gövde çapı tahmininde hem de ticari hacim tahmininde diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Schröder vd. (2014), Bieziyla-Parana bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren slash çamı ağaç türü için gövde profili modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında literatürde yaygın olarak kullanılan altı farklı gövde profili modeli belirlenerek analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, Kozak (1988) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili modelinin diğer beş modele göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ercanlı vd. (2014) ve Şenyurt vd. (2014) doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği ile gövde profili modelleri geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmalarda, Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilmiş olan gövde profili denklemi kullanılmıştır. Şenyurt vd. (2014) yaptıkları çalışmada ise AR(1) ve ARMA (1) varyans yapılarını mukayese etmişlerdir.

Ercanlı vd. (2015) yaptıkları çalışma kapsamında *Picea orientalis* türünün kütük çapından gövde çapı tahmini yapmışlardır. Bu kapsamda karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca farklı kalibrasyon alternatifleri de test edilmiştir.

Arias-Rodil vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, İspanya'daki *Pinus radiata* plantasyonları için gövde profili denklemi geliştirilmiştir. Bu amaçla Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilmiş değişken şekil gövde çapı modeli kullanılmıştır. Çalışmada bir, iki ve üç parametrenin de tesadüfi etkili olma durumları değerlendirilmiş ve en uygun kombinasyonun tüm parametrelerin tesadüfi etkili olması durumu olduğu görülmüştür. Daha sonra yeni bir ağaç için gözlem yapılması gerektiğinde en uygun kalibrasyon alternatifinin ne olduğu araştırılmış ve bu amaçla ekstra tek çap ölçümü yapılmıştır. Sonuç olarak gövde çapı ve hacim tahminleri için en uygun kalibrasyon alternatifinin ağaç boyunun yaklaşık yarısında yapılacak ölçüm olduğu görülmüştür.

Sabatia ve Burkhart (2014) tarafından yapılan çalışmada, gövde çapı tahminlerindeki başarıyı arttırabilmek ve yeni bir birey için daha doğru tahminler yapabilmek amacıyla ağaç gövde üzerinde ekstra çap ölçümlerinin yararlı olacağı ifade edilmiştir. Bu amaçla iki farklı yaklaşım test edilmiştir. Çalışmada veri olarak Yeni Zelanda'da ölçülmüş *radiata* çamı kullanılmıştır. Verilerin %70'i model geliştirmek için geri kalan %30'luk kısmı ise geliştirilen modellerin testi için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yeni bir ağaç için tahmin yapılmak istendiğinde kullanılacak ekstra çap değerinin ağaç boyunun %60'lık kısmından yapılması önerilmiştir.

Gomez-Garcia vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada ise, Türkiye'deki sarıçam meşcereleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı ile gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Çalışmada bir ve iki parametrenin tesadüfi etkili olma durumları için en uygun kombinasyonun belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışmada belirlenen en uygun kombinasyona göre tek ekstra ölçüm değeri için kalibrasyon alternatifleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yeni bir ağaç için kalibrasyon yapılması gerekirse bu amaçla ağaç boyunu %40-90'ı arasında bir yerden ekstra çap ölçümünün yapılmasının daha doğru olacağı ifade edilmiştir.

Arias-Rodil vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada ise, hacim tahminleri üzerine ağaç boyu ve ekstra çap ölçümlerinin etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, eğer hacim tahminlerinde göğüs çapı, ağaç boyu ve ağaç gövdesi üzerinde ölçülecek ekstra bir değişken kullanıldığında, ağaç boyunda yapılacak ölçüm hatalarının pozitif

hataya, ekstra çap ölçümlerinin negatif hataya neden olduğu görülmüştür. Hacim tahminleri için göğüs çapı değişkenine ağaç boyu değişkenini eklenmesi ile daha doğru hacim tahminleri yapılabildiği ifade edilmiş ancak ekstra çap değerinin kullanımının ancak doğru ölçülmesi ile tavsiye edilebileceği belirtilmiştir.

Sakıcı ve Özdemir (2018), Doğu kayını ve Kazdağı göknarı karışık meşcereleri için gövde profilinin ortaya konulmasında yapay sinir ağları yöntemini kullanarak elde ettikleri sonuçları diğer gövde profili modelleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışma için gerekli veriler Karabük yöresindeki kayın göknar karışık meşcerelerinden 238 Doğu kayını ve 278 Kazdağı göknarında ölçümler gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Çalışmada toplamda 45 farklı yapay sinir ağı modeli ile 4 farklı gövde profili modeli kullanılmıştır. Çalışma sonunda yapılan karşılaştırma neticesinde, yapay sinir ağları modellerinin, her iki ağaç türü için de gövde profili modellerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Çap-boy ilişkilerinin modellenmesi amacıyla hem doğrusal hem de doğrusal olmayan modeller yaygın olarak kullanılmıştır. Geleneksel, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modelleri toplumun tamamı hakkında genel bilgiler içermesine karşılık karışık etkili modelleme tekniği kalibrasyon sonrası spesifik durumlar için de bilgiler içermesi nedeniyle daha avantajlı bir duruma sahiptir. Bu kapsamda pek çok araştırmacı tarafından çap-boy ilişkilerinin modellenmesi için hem doğrusal hem de doğrusal olmayan karışık etkili modeller yaygın olarak kullanılmıştır. Bu çalışmalara ve sonuçlarına ilişkin özet bilgiler aşağıda kısaca verilmiştir. Örneğin Quercus pagoda için (Lynch vd. 2005), *Pinus taeda* için Trincado vd. (2007), yine ABD'nin Kuzey-batı bölgesindeki *Pinus taeda* için Temesgen vd. (2008), Kanada'nın Alberta bölgesindeki *Populus tremula* için Huang vd. (2009), İspanya'daki *Pinus pinea* için (Calama ve Montero, 2004), ABD'nin Kuzey-batı kısımlarındaki 10 farklı çam türleri için (VanderSchaaf, 2014), yine Minnesota eyaletindeki bazı önemli çam türleri için (VanderSchaaf, 2012), Doğu Teksas'taki loblolly ve Slash çamı için (Coble ve Lee, 2011), tarafından karışık etkili modeller tekniği kullanılarak çap-boy ilişkileri modellenmiştir. Bu çalışmaların sonuçlarına ilişkin bazı detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Lappi (1997) ve Mehtatalo (2004), kalibrasyon işleminden sonra karışık etkili modellerin daha avantajlı olduğunu ifade etmektedir. Yine Karışık etkili modellerin (Schabenberger ve Pierce, 2002) bu modeller yardımı ile aynı örnek alan içerisindeki ağaçlar arası zamansal ve zamansal olmayan korelasyonun hesaplanmasına imkân sağlamaktadır.

Fang ve Bailey (1998), Güney Çin’de Hainan adasındaki tropikal ormanlar için 33 farklı çap-boy modelinin başarı durumunu “S” ve “Konkav” şeklindeki eğrilerini kullanarak araştırmışlardır.

Zhang vd. (2002), geniş coğrafi bölgeler için geliştirilen çap-boy modelini daha ayrıntılı çalışmalarda ortaya konan ekolojik bölgelerde uygulamış ve *Picea mariana* ağaç türü için boy tahminleri %1-10 ve *Pinus banksiana* türü için ise %2-7 arasında hatalı tahminlerin elde edildiği sonucunu göstermişlerdir.

Trincado vd. (2007), *Pinus taeda* 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.

Lhotka (2012), sıgla türünün hâkim olduğu alanlarda çap-boy ilişkilerini incelemek amacıyla 5 türü kapsayan denklemler geliştirmişlerdir. Her tür için geliştirilen iki denklemden ilki, çapın belirleyici olduğu baz model; ikincisi ise baz model ile karşılaştırılan ve meşcere ve/veya ağaç göğüs yüzeyini tahmin eden modeldir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, ağaç boyunun belirleyici olduğu denklemin daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

VanderSchaaf (2012), ABD’nin Minnesota eyaletinde ekolojik ve ekonomik önemli bazı ağaç türleri için karışık etkili çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Çalışmada

doğrusal karışık etkili model kullanılmıştır. Bu amaçla üstel bir model seçilmiş ve bu model tesadüfi ve sabit etkili parametreleri birlikte içerecek şekilde doğrusal forma dönüştürülmüştür. Çalışma sonucunda örnek alan düzeyindeki kalibrasyon işlemi için 1 ağacın meşcere düzeyindeki kalibrasyon işlemi için ise 3 örnek ağacın yeterli olacağını ifade etmiştir. Ancak daha büyük örnek büyüklükleri için 10-15 adet ağacın kullanılması gerektiği ifade edilmektedir.

VanderSchaaf ve Stuhlinger (2012), *Populus deltoiden* için karışık etkili çap-boy modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla üssel bir model önce karışık etkili model parametrelerini de içerecek şekilde doğrusal forma dönüştürülmüştür. Bağımsız bir örnek veri seti kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemi sonucunda, kalibre edilmiş modeller ile elde edilen boy tahminlerinin kalibre edilmemiş modellere göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Her örnek alanda 1 ile 3 örnek ağaç kullanılarak farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiş ve örnek alan düzeyinde en başarılı sonuçlar 1 ağaç ile elde edilmiştir.

Çapar (2013), Antalya'daki *Pinus brutia* meşcereleri 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, geliştirilmiş 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. (2013), ardıç ağaçlarının çap-boy ilişkilerini ortaya koymak amacıyla geleneksel doğrusal olmayan modeller, geliştirilmiş büyüme modelleri kullanılmış buna ilaveten modellerin geliştirilmesinde doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği ve yapay sinir ağı yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda hem doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği hem de yapay sinir ağı modelleri kullanılarak oldukça başarılı tahminler yapılabildiği görülmüştür.

VanderSchaaf (2014), tarafından yapılan bir çalışmada ise Kuzeybatı Amerika'daki 10 farklı çam türü için karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak çap-boy modelleri geliştirilmiştir.

Adamec (2015), Çek Cumhuriyetindeki *Picea abies* meşcereleri için çap-boy modelleri geliştirmek amacıyla doğrusal karışık etkili modelleme yaklaşımı ile genelleştirilmiş model yaklaşımını karşılaştırmıştır. Sonuçlar doğrusal olmayan regresyon modeli ile elde edilen boy eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla karışık etkili modelleme yaklaşımı için farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiştir. Çalışma sonucunda doğrusal karışık etkili modellerin genelleştirilmiş modellere göre boy tahminlerinde daha başarılı olduğu görülmüştür.

Ahmadi ve Alavi (2016), tarafından yapılan çalışmada ise, İran'ın Hyrcanian Bölgesindeki Doğu kayını meşcereleri için genelleştirilmiş çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla 39 farklı model test edilmiştir. Bu amaçla değişik yaşlı doğu kayını meşcerelerinden 75 örnek alan ve toplam 1067 adet örnek ağaç ölçülmüştür. En başarılı modelin test amacıyla çapraz doğrulama yöntemi ve altı ölçüt değer kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, en başarılı genelleştirilmiş modelin göğüs çapı, dominant boy, hektardaki göğüs yüzeyi ve ağaç sayısı değişkenlerini içeren model olduğu ortaya konmuştur.

Zhang vd. (2016), çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği, kantil regresyon ve genelleştirilmiş eklemeli modeller karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda karışık etkili modelleme tekniğinin ekstra bir değişken gerektirmemesi nedeniyle diğer model formlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür.

Çap dağılım modelleri konusunda ulusal ve uluslararası literatürde yer almış bazı önemli çalışmalar ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Carus ve Çatal (2007), Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ve Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) türlerinde bir yıllık çap ve boy artımının vejetasyon dönemindeki aylar itibariyle dağılımını incelemişlerdir. Çap ve boyun artımının çift yönlü varyans analizi sonuçlarına göre, türler bazın çap artımının farklı, boy artımının ise aynı olduğu anlaşılmıştır. Çap ve boy artımının aylar bazında farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Çatal (2009), Batı Akdeniz bölgesindeki *Pinus brutia* türünün artım ve büyümesinin simülasyon metoduyla incelediği çalışmasında, ilgili türün meşcerelerinde normal ve azami hacim artımını ortaya koymuştur.

Sakıcı ve Gülsunar (2012), Uludağ göknarı karışık meşcerelerinde çap dağılım modellemesi yapabilmek için 4 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu (Exponential, 2 parametreli Exponential, 2 parametrelili Weibull ve 3 parametrelili Weibull fonksiyonları) kullanmışlardır. Bu amaçla orta Karadeniz bölgesindeki 180 adet deneme alanında toplamda 8682 adet ağaçta ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda 2 parametrelili Exponential fonksiyonu en başarılı sonuçları verirken, Exponential fonksiyonu ise en başarısız model olarak belirlenmiştir.

Poudel ve Cao (2013), Weibull fonksiyonunun parametrelerini tahmin etmek amacıyla geliştirilen farklı yöntemleri karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında 10 farklı parametre tahmin ve iyileştirme yöntemi değerlendirilmiştir. Tüm bu yöntemler 4 farklı kritere göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, değiştirilmiş kümülatif dağılım fonksiyonu regresyonunun daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Karakaş (2013), yapmış olduğu çalışmada Kahramanmaraş yöresindeki fıstıkçanı meşcerelerinin modellenmesi amacıyla 3 parametrelili Weibull fonksiyonunu kullanmıştır. 30 adet örnek alanda gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilen veriler ile sürdürülen çalışmada, Weibull fonksiyonunun parametre tahminleri için 6 farklı yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla hata indeks parametresinin kullanıldığı çalışmada, persentil yöntemi ile tahmin edilen parametrelerin en başarılı sonuçları verdiği belirtilmiştir.

Bolat (2014), Bursa-Kestel bölgesindeki meşcereler için çap dağılım sistemleri geliştirmiştir. Çalışma kapsamında 398 adet örnek alandan elde edilen veriler kullanılmıştır. 3 parametrelili Weibull fonksiyonunun kullanıldığı çalışmada %31 ve %63 lük yüzdellik değerleri baz alan parametre tahmin yöntemlerinin daha başarılı olduğu belirtilmiştir.

Güneş (2015), Isparta yöresindeki kızılçam meşcerelerinde çap dağılımının örnek nokta ağaç sayısına göre belirlenmesini amaçladığı çalışmada, Beta, Gamma, Weibull, Normal ve Log-normal dağılımlarını kullanmıştır. Çalışma kapsamında farklı büyüklüklerde 88 örnek alandan elde edilen veriler ile sürdürülen çalışmada, Gamma dağılımı ile elde edilen modelin en iyi sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Özçelik vd. (2016), *Pinus brutia* türü için çap dağılımını yapabilmek amacıyla Johnson's S_B dağılımını kullanmışlardır. Çalışma kapsamında iki farklı parametre tahmin yöntemi mukayese edilmiştir. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde ise kullanılan her iki parametre tahmin yöntemiyle de elde edilen teorik çap dağılımının gerçeğe oldukça yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.

Çap dağılımları konusunda literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bir meşcere içerisindeki çap dağılımı; ağaç sayısı, bonitet endeksi, göğüs yüzeyi ve orta çapı gibi birçok parametre ile bağlantılıdır. Clutter ve Bennet (1965), Mc Gree ve Della-Bianca (1967), Lenhart ve Clutter (1971), Lenhart (1972) ve Cao (1997) Beta dağılımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Nelson (1964) ise Gamma dağılımı konusunda çalışma yapmıştır. Bailey ve Dell (1973), Schreuder vd. (1979), Nepal ve Somers (1992) ve Cao (1997) Weibull dağılımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. Lappi ve Bailey (1987) Log- normal; Clutter ve Bennet (1965) ise normal dağılım konusunda çalışmalar yapmışlardır.

Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde, verim gücü konusunda yapılmış olan çalışmaların bazıları ise aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Bailey ve Clutter (1974), Yeni Zelanda'daki *Pinus radiata* türü için aynı bonitet endeks modeli ile farklı standart yaşlar için tahmin yapabilen standart yaş değişmezliği özelliğine sahip yaş-boy eğrileri geliştirmişlerdir.

Carus (1998), Türkiye'deki Batı ve Orta Karadeniz yöresi aynı yaşlı Doğu kayını meşcerelerindeki ağaçların göğüs çap artımlarının; göğüs çapı, meşcere göğüs yüzeyi ve yaşa göre gösterdiği değişimi incelemiştir. Araştırma sonucunda, meşcerelerde çap artımı yaş ilişkisinin sağa çarpık çan eğrisi biçiminde olduğu görülmüştür.

Meşcere göğüs yüzeyi, göğüs çapı-çap artımı ilişkisi üzerinde doğrusal fakat ters yönde bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir.

Cieszewski ve Bailey (2000), eşzamanlı polimorfizm ve değişken asimptotları tanımlayabilen standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip denklemlerini geliştirebilmek için GADA yaklaşımından faydalanmışlardır. Araştırmacılar, en karmaşık dinamik denklemlerin bile geliştirilebilmesi için bu yeni jenerik metodolojinin matematiksel olarak elverişli olduğunu altını çizmişlerdir.

Corral-Rivas vd. (2004), El Salto, Durango (Meksika) ormanlık bölgelerinin belli başlı çam türleri için bonitet endeks modellerini geliştirmek için yedi GADA denkleminde faydalanmışlardır. *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* ve *P. herrerae* türleri olmak üzere toplamda 160 adet ağacın gövde analizi verilerinin kullanıldığı çalışmada, otokorelasyonun giderilmesi için birinci dereceden otoregresif hata yapısı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda beş çam türünün tümü için Cieszewski ve Bella polimorfik denkleminin kullanılabileceği önerilmiştir.

Durkaya (2004), Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü içerisinde bulunan Uludağ göknarı, sarıçam ve doğu kayın türlerinden oluşan karışık meşcerelerin artım büyümesini araştırmıştır. Bu amaçla alman 31 adet örnek alandan toplanan verilere ilave olarak, 28 Uludağ göknarı, 27 sarıçam ve 27 doğu kayını gövde analizi değerleri incelenmiştir. Ayrıca karışık meşcerelerin artım ve büyümesi zamana bağlı olarak incelenmiştir. Bunun yanında, karışık meşcerelerde kullanılmak üzere tek girişli ve çift girişli hacim tabloları ve bonitet tabloları oluşturmuştur.

Palahi vd. (2004), Kuzeydoğu İspanya'daki sarıçam meşcereleri için Chapman–Richards, Hossfeld, Lundqvist–Korf ve Schumacher denklemlerinden faydalanarak GADA yaklaşımıyla modeller geliştirmişlerdir. Hossfeld fonksiyonundan elde edilen polimorfik fark denklemi, bu çalışmada diğer denklemler arasında en iyi sonucu vermiştir.

Anta vd. (2005), Kuzeybatı İspanya'da yayılış gösteren *Fagus robur* türü için Sloboda, Bertalanffy-Richards, Korf, Hossfeld ve McDill-Amateis tarafından geliştirilmiş olan 8 farklı GADA modelini test etmişlerdir. Test edilen denklemler

arasında Korf tarafından geliştirilen GADA modeli diğer modellere göre en başarılı sonuçları vermiştir.

Carvalho ve Parresol (2005), *Quercus pyrenaica* meşcereleri için dominant boy ve yetiştirme ortamı modelleri geliştirmişlerdir. Çalışmada dinamik bir büyüme modeli geliştirebilmek için Bertalanffy-Richards fonksiyonu GADA yaklaşımı ile kullanılmıştır.

Adame vd. (2006), Kuzeybatı İspanya'da yayılış gösteren *Quercus pyrenaica* türü için hâkim boy büyüme modeli ve bonitet endeks modeli geliştirmişlerdir. Bu amaçla 90 sabit örnek alandan, gövde analizi için toplamda 147 adet ağaçta ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bailey denklemini temel alan Cieszewski tarafından GADA yaklaşımı kullanılarak geliştirilen model en iyi sonuçları vermiştir.

Nord-Larsen (2006), Danimarka'daki Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) için standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip bonitet endeks eğrileri geliştirilmiştir. Değişken asimptotlu gelişmiş polimorfik dinamik yetiştirme ortamı denklemleri genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımına dayanmakta olup model parametreleri, birinci dereceden seri korelasyon için düzeltmeyle tahmin edilmiştir.

Bravo-Oviedo vd. (2007), İber Yarımadası'nın iç kısmındaki sahil çamı türü için polimorfizmi ve değişken asimptotları destekleyen standart yaş değişmezliği özelliğine sahip bir model geliştirmişlerdir. Hossfeld tarafından geliştirilmiş GADA modeli biyolojik tutarlılık açısından en başarılı sonuçları vermiştir.

Cieszewski vd. (2007), Orta Avrupa'daki sarıçam meşcereleri için dinamik büyüme modelleri geliştirmişlerdir. Test edilen modeller anamorfik ve polimorfik dinamik yetiştirme ortamı denklemleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Söz konusu modeller geliştirilirken standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip GADA yaklaşımı benimsenmiştir.

Sanchez-Gonzalez vd. (2008), *Quercus suber* türü için geliştirdiği büyüme modeli kapsamında toplamda 432 ağaçtan elde ettiği gövde analizi verilerini kullanmışlardır. Çalışma kapsamında GADA yaklaşımıyla elde edilmiş 10 farklı denklem test

edilmiştir. Çalışma neticesinde Krumland ve Eng tarafından geliştirilen GADA denklemi en iyi sonucu vermiştir.

Ercanlı (2010), *Picea orientalis* ve *Pinus sylvestris* karışık meşcerelerinde çap dağılımı ve tek ağaç bazında büyüme modelleri geliştirmiştir. Çalışma kapsamında, 161 adet örnek alanda, toplamda 306 ağaçtan alınan gövde analizi verileri kullanılmıştır.

Ercanlı vd. (2014), sarıçam ve Doğu kayını meşcereleri için standart yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip GADA denklemleri geliştirmek için Bertalanffy-Richards, Hossfeld ve Lundqvist-Korf denklemlerinden faydalanmışlardır. Bu amaçla çalışmada 198 sarıçam ve 199 Doğu kayını türüne ait gövde analizi verileri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda sarıçam türü için en iyi denklemin Bertalanffy-Richards, Doğu kayını için ise Hossfeld tarafından geliştirilen denklemler olduğu belirtilmiştir.

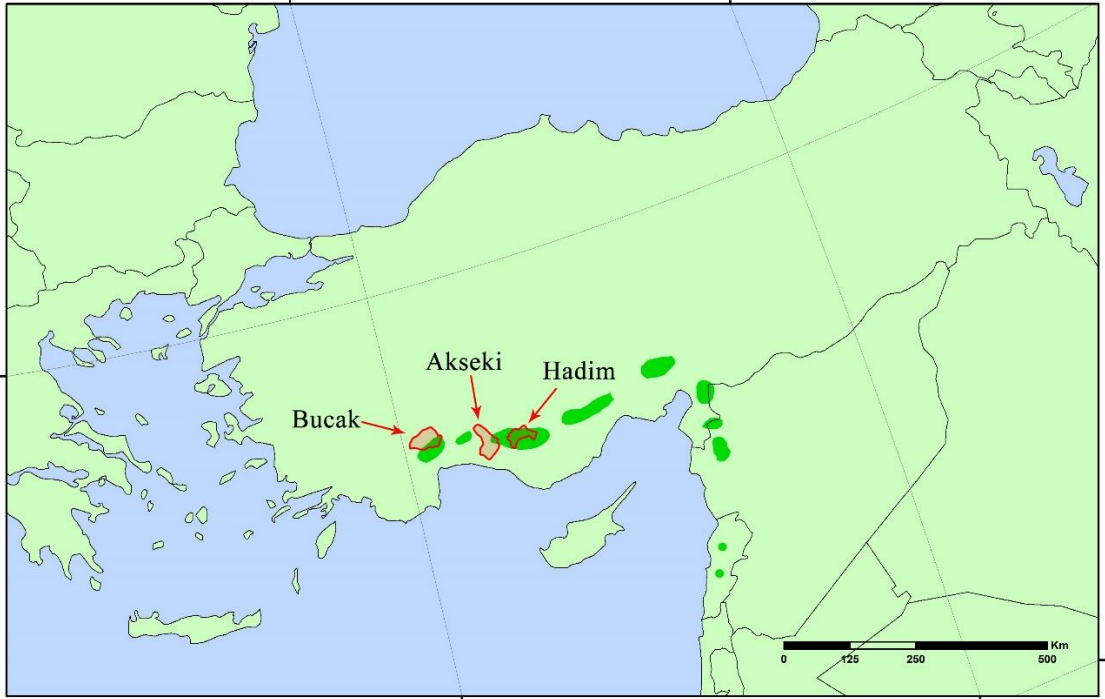
Kitikidou vd. (2014), Kıbrıs'ta yayılış gösteren kızılçam meşcereleri için dominant boy ve bonitet endeks modelleri geliştirmişlerdir. Çalışma için gerekli veriler, sadece kızılçam türünün yayılış gösterdiği 32 geçici örnek alandaki 64 ağaçtan toplanan gövde analizi verileri ile sağlanmıştır. Örnek alanların rastgele olarak seçildiği çalışmada toplamda dört farklı denklem test edilmiştir. Çalışma neticesinde, Korf tarafından geliştirilen model en iyi sonuçları vermiştir.

Seki ve Sakıcı (2017), yaptıkları çalışmada Taşköprü yöresindeki karaçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modelleri geliştirmişlerdir. Genelleştirilmiş cebirsel fark yaklaşımının kullanıldığı çalışmada, 132 adet hâkim ağaç belirlenerek ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yaş-boy ilişkileri konusunda toplan varyansın %99'unu açıklayabilen Bertalanffy-Richards tarafından geliştirilen model en başarılı sonuçları vermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada kapsamında ülkemizdeki Toros göknarı meşcerelerinin yayılış gösterdiği bazı önemli alanlar için gövde çapı, çap-boy, çap dağılım ve bonitet endeksi modellerinin geliştirilmesi amacıyla 2016-2018 yılları arasında örnek ağaç ve örnek alan verileri toplanmıştır. Çalışmada genel olarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesi için 244 örnek ağaç, çap-boy ve çap dağılım modellerinin geliştirilmesi için 110 örnek alanda 3759 ağaç, bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi için ise 43 adet örnek ağaçta ölçümler yapılmıştır. Her bir farklı model için gerekli verilerin toplanma şekli aşağıda bölümler halinde özetlemeye çalışılmıştır. Ülkemizde doğal Toros meşcerelerinin dağılışı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil. 3.1. Doğal Toros göknarı meşcerelerinin dağılışı

3.1.1. Gövde çapı modellerine ilişkin materyal

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi için gerekli örnek ağaç verileri Toros göknarının doğal olarak yayılış gösterdiği Akseki, Bucak ve Hadim Orman İşletme

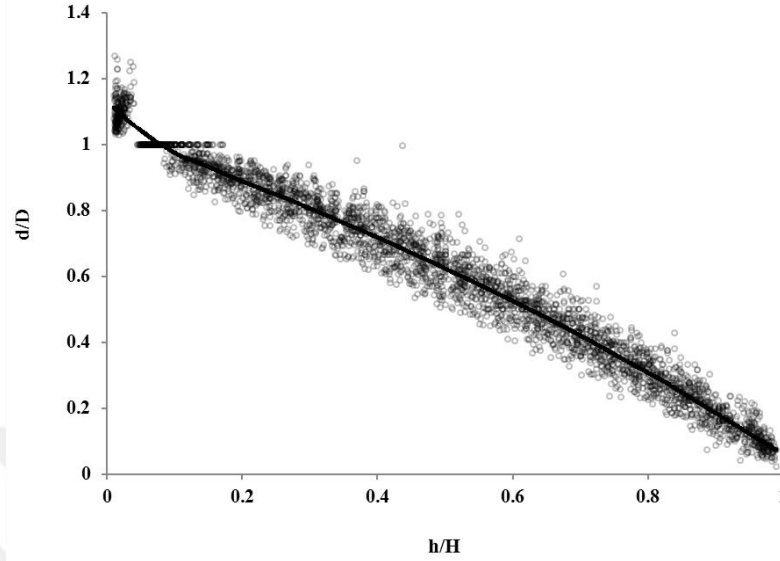
Müdürlüklerindeki meşcerelerden toplanmıştır. Bu kapsamda, 244 ağaç üzerinde gerekli ölçümler yapılmıştır. Örnek ağaçların seçiminde, meşcerelerin kuruluşlarının ve genel özelliklerinin en iyi şekilde yansıtılmasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla, örnek ağaç sayılarını mümkün olduğunca tüm çap ve boy sınıflarına homojen bir şekilde dağıtılmasına gayret edilmiştir. Örnek ağaçlar tepesi kırık, gövde formu bozuk, çatallaşmış ve eğri ağaçlardan seçilmemiştir.



Şekil 3.2. Gövde çapı modeli geliştirmek amacıyla örnek ağaçlar üzerinde yapılan ölçümler

Örnek ağaçlar üzerinde ağaçlar kesilmeden önce göğüs yüksekliği çapları (1.30 m yüksekliğinden) ölçülmüş; ağaçlar kesildikten sonra ise, şerit metre ile toplam ağaç boyları 5 cm hassasiyetle ve gövde üzerinde 1 metre aralıklarla gövde çapları ise 0.1 cm hassasiyetle Haglöf DP II dijital çap ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Örnek ağaç hacimlerinin tahmini, ölçümü yapılan 1 m'lik seksiyonların hacimleri Smalian odun hacim formülü kullanılarak tahmin edilmiş, uç parçanın hacmi ise koni hacmi formülü yardımı ile tahmin edilmiştir. Elde edilen koni ve seksiyon hacimleri toplanarak örnek ağaçların gerçek hacim değerleri olarak kabul edilmiştir. Coble ve Hipp (2006), Smalian Yönteminin özellikle kısa uzunluklara sahip seksiyonların hacim tahminlerinde oldukça başarılı sonuçlar verdiği

bildirmiştir. Şekil 3.3'te ölçümü yapılan ağaçların nispi çap-boy ilişkileri, Çizelge 3.1'de ise söz konusu ağaçların tanımlayıcı istatistikleri verilmiştir.



Şekil 3.3. Toros göknarı için model geliştirme amacıyla kullanılan ağaçların nispi çap-nispi boy ilişkisi (d: gövde çapları, D: göğüs çapı, h: çap ölçüm yüksekliği, H: ağaç boyu, d/D: nispi çap, h/H: nispi boy)

Çizelge 3.1. Gövde çap modellerinin geliştirilmesi amacıyla ölçülen örnek ağaçlara ilişkin nitelendirici istatistikler.

Değişken	Ortalama	S.D.	Minimum	Maksimum
D (cm)	38.64	12.76	14.00	73.00
H (m)	17.90	4.75	7.60	28.80
d (cm)	23.60	13.48	1.00	76.00
h (m)	8.62	5.76	0.30	26.30
V (m ³)	1.066	0.81	0.074	3.812

D: kabuklu Göğüs çapı (cm, 1.3 m'deki); H: toplam ağaç boyu (m); d: h (m) yüksekliğindeki kabuklu gövde çapı; v: kabuklu gövde hacmi (m³). S.D: Standart sapma

3.1.2. Çap-boy modellerinin geliştirilmesine ilişkin materyal

Toros göknarı meşcerelerindeki çap-boy ilişkilerinin ortaya konması amacıyla Bucak Orman İşletme Müdürlüğü'nden 34, Akseki Orman İşletme Müdürlüğü'nden 44 ve Hadim Orman İşletme Şefliği'nden 32 örnek alan olmak üzere toplamda 110 adet örnek alanda detaylı ölçümler yapılmıştır. Örnek alanların seçiminde, doğal Toros göknarı meşcerelerinin çap ve boy dağılımının tam olarak yansıtılabilmesine azami

özen gösterilmiştir. Örnek alanların büyüklükleri, içerisinde minimum 30 ağaç girecek şekilde kararlaştırılmış, bunun sonucunda genç meşcerelerden alınan örnek alanlar nispeten daha küçük, orta ve yaşlı meşcerelerden alınan örnek alanlar ise daha büyük olmuştur. Buna bağlı olarak örnek alan büyüklüklerinin 800-1400 m² arasında değiştiği görülmüştür. Örnek alan şekli olarak, nispeten araziye aplikasyonu ve ölçümü daha kolay olması nedeniyle daire kullanılmıştır.

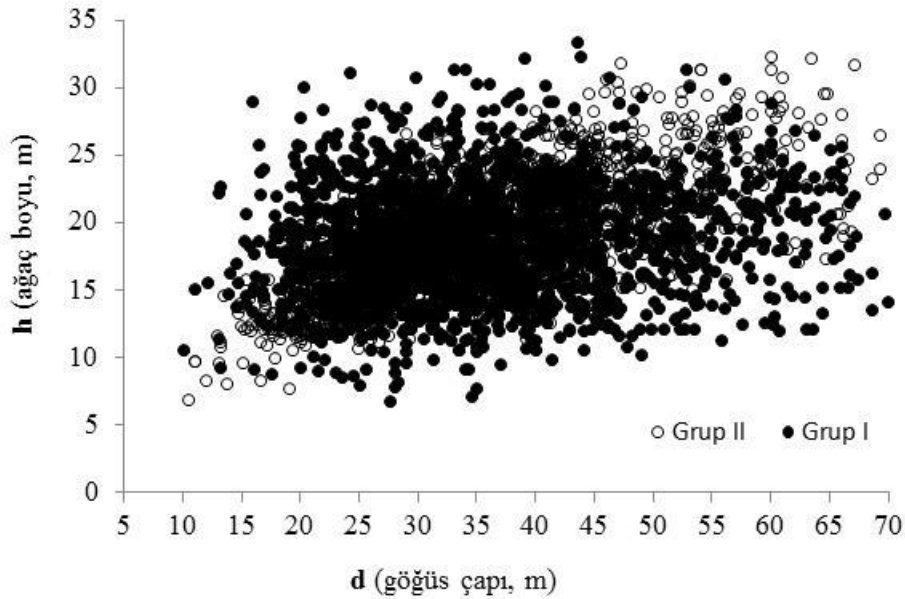
Çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla örnek alanlarda yapılan ölçümler aşağıdaki gibi özetlenebilir. Bu amaçla daire şeklindeki örnek alanın merkezine karar verilmiş, meşcere kapalılığı ve kuruluşları da dikkate alınarak, örnek alan sınırları belirlenmiştir. Örnek alan içerisinde kalan ağaçların birden fazla ölçülmesini engellemek amacıyla merkezden başlayarak dışarı doğru her birine numara verilerek, göğüs yüksekliği tebeşir işaretlenmiştir. Daha sonra, örnek alan içerisine giren her ağacın göğüs yüksekliğinden (1.30 m) birbirine dik iki çap ölçümü yapılmış ve bunların ortalaması alınarak örnek ağaç göğüs çapına karar verilmiştir. Çap ölçümleri dijital çap ölçer yardımıyla 0.1 cm hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Örnek ağaç boyları ise, Laser Technology TruPluse 360 Rage Finder cihazıyla ve 0.01 m hassasiyetle gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 110 örnek alanda 3759 adet ağaçta çap ve boy ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlere ilave olarak meşcerelerin genel özellikleri de bu amaçla düzenlenmiş envanter karnelerine not edilmiştir.

Yukarıda da ifade edildiği gibi, çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla ölçümü yapılan örnek alanlar, geliştirilecek çap-boy modellerinin başarı ölçütlerinin belirlenmesi ve en iyi modelin ortaya konması amacıyla tesadüfi olarak eşit sayıda örnek alan içerecek şekilde iki gruba ayrılmıştır (her grupta 55 adet örnek alan). Bu iki gruba ilişkin nitelendirici istatistikler Çizelge 3.2’de, örnek ağaçların çap-boy dağılımları ise Şekil 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.2. Her iki grup için tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Grup I				Grup II			
	Ortalama	Min.	Maks.	S.D.	Ortalama	Min.	Maks.	S.D.
	<i>(55 örnek alanda 1859 ağaç)</i>				<i>(55 örnek alanda 1900 ağaç)</i>			
d	34.86	10.50	72.50	10.42	36.05	10.00	71.00	11.58
h	18.86	6.90	32.40	4.09	18.88	6.80	33.40	4.23
N	335	271	413	31.56	334	264	438	40.23
G	34.84	18.68	56.86	7.35	37.55	19.95	98.24	12.93
H_0	25.29	20.24	31.18	1.56	24.99	18.18	29.86	2.22
D_0	51.48	34.08	61.34	5.72	54.10	43.9	65.40	4.99

d , göğüs çapı (cm, 1.3 m yükseklikte); h , (m, toplam ağaç boyu); N (adet, hektardaki ağaç sayısı, adet/ha); G (göğüs yüzeyi, m²/ha); H_0 (dominant boy, m); D_0 (dominant çap, cm)



Şekil 3.4. Toros göknarının gövde çapına karşılık toplam ağaç boyunu gösteren dağılım grafiği

Bu yöntem Bohora ve Cao (2014) ve Özçelik vd. (2018) tarafından kullanılmış ve iki katlı örnekleme olarak isimlendirilmiştir.

3.1.3. ap dağılım modellerine ilişkin materyal

Toros göknarı meşcerelerinin meşcere kuruluşlarının tanımlanmasına yardımcı olmak amacıyla çap dağılım modellerinin geliştirilmesinin amaçlandığı bu bölümde, türün doğal olarak yayılış gösterdiği Akseki ve Bucak Orman İşletme Müdürlükleri ile Hadim Orman İşletme Şefliği'ndeki meşcerelerden toplamda 110 adet örnek alanda gerekli ölçümler yapılmıştır. rnek alanların seçiminde türün yayılış gösterdiği alanlardaki meşcere kuruluşlarının tam olarak yansıtılabilmesi amacıyla örnek alanlar değişik yaş, boy ve çap sınıflarına dağıtılmıştır. Ancak kullanılan modelde sadece 83 adet örnek alan için zm sağlanabildiği için çalışmanın bu bölümü 83 örnek alan temel alınarak srndrlmesine karar verilmiştir.

Meşcere sıklığına bağlı olarak değişkenlik göstermek üzere, örnek alan büyüklükleri 800-1400 m² arasında ve örnek alanlardaki ağaç sayısı da 30-50 arasında değişmektedir. Araziye aplikasyonu ve ölçüm kolaylığı nedeniyle örnek alanların şekli daire olarak kararlaştırılmıştır. rnek alanlar araziye applike edildikten sonra örnek alan içerisindeki tüm ağaçlar merkezden dışa doğru numaralandırılmış ve ağaçların göğüs çapı ölçümleri, göğüs yüksekliğinden birbirine dik iki ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiş ve aritmetik ortalaması alınarak ilgili ağaın göğüs çapı olarak kaydedilmiştir. Buna ek olarak her örnek alanda örnek alanların ve bu örnek alanların alındığı meşcerelerin meşcere kuruluşlarının tanımlanmasına yardımcı olacak diğer bazı meşcere parametreleri (göğüs yüzeyi, dominant boy, hektardaki ağaç sayısı ve meşcere orta boyu) de ölçülmüştür. Bununla birlikte her örnek alan için bazı meşcere ve dağılım değişkenlerinin ortalamaları da hesaplanmıştır. Bunlar; ortalama göğüs çapı (\bar{d}), kareli ortalama göğüs çapı (d_g), hektardaki ağaç sayısı (N), hektardaki göğüs yüzeyi (G), minimum çap (d_{min}), maksimum çap (d_{max}) ve medyan çap ($d_{0.50}$), vb.. Bütün bu değişkenlere ilişkin ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma gibi nitelendirici istatistikler izelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Çap dağılımı modeli geliştirmek için kullanılan verilerin meşcere parametreleri ($n=83$)

Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	SD
\bar{d} (cm)	35.4	10	72.5	11.05
G ($m^2 ha^{-1}$)	36.1	18.6	98.2	10.45
N (ağaç sayısı/ha)	333.1	264	438	36.06
d_{min} (cm)	18.4	10.0	48.0	4.50
$d_{0.50}$ (cm)	34.2	26.2	60.0	4.3
Alan (m^2)	1052.8	800	1400	180.9

Not: \bar{d} , aritmetik ortalama çap; d_g , kareli ortalama çap; $d_{0.50}$, medyan çap; d_{min} , minimum çap; d_{max} , maksimum çap; G , göğüs yüzeyi; N , hektardaki ağaç sayısı; SD, standart sapma.

3.1.4. Bonitet endeks modellerine ilişkin materyal

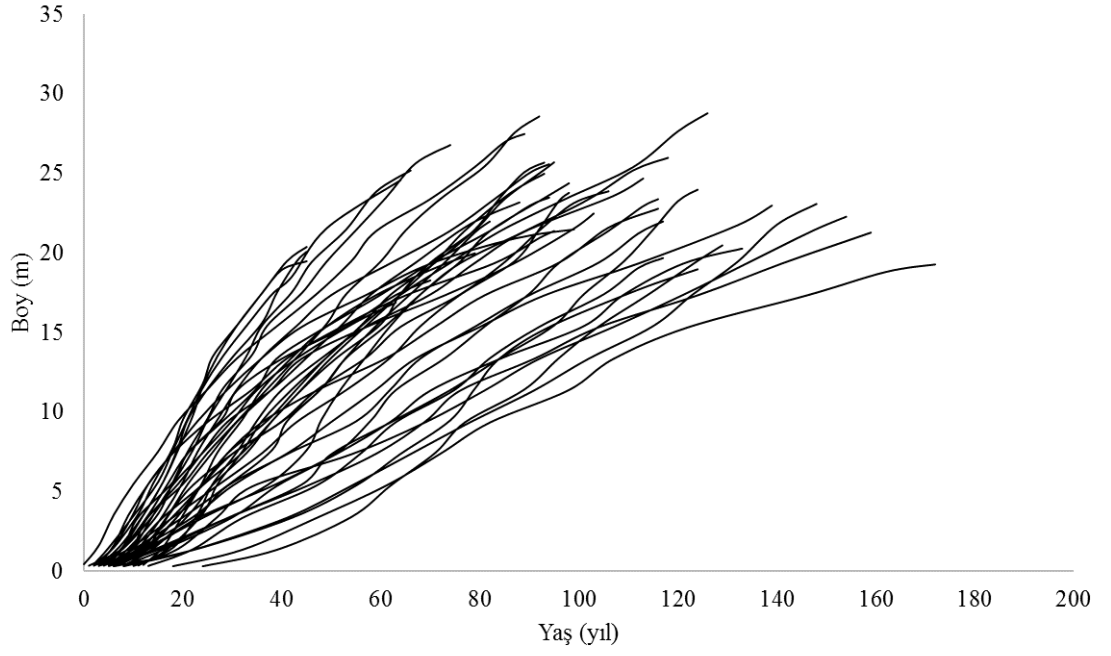
Çalışma sahası içerisinde Toros göknarı 800-2100 m yükseklikler arasında yayılış göstermektedir. Toros göknarı meşcereleri değişik jeolojik yapılar üzerinde yayılış göstermesine rağmen genel olarak kireç taşı üzerinde iyi meşcereler kurmaktadır (Bozkuş, 1987). Çalışma alanında toprak derinliği sığ ve orta derinlik arasında değişmektedir (Bozkuş, 1987). Ortalama sıcaklık $6^{\circ}C$ ile $12^{\circ}C$ arasında değişmektedir. Ortalama yağış ise, 120 ile 600 mm arasında değişmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü alanlarda iklim tipi genel olarak Akdeniz iklim tiplerindedir. Çalışma kapsamında toplam 110 adet örnek alan ölçülmesine karşın, bonitet endeksi modellerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılacak galip ya da müşterek galip ağaçlara ilişkin veriler 43 örnek alandan toplanmıştır.

Bu alanların Toros göknarının yaş, yetiştirme ortamı ve meşcere kuruluşu bakımından yayılış yaptığı alanları en iyi temsil edebilecek şekilde alınmış ve bu alanların her birinden 1 adet dominant ya da meşcere üst boyuna yakın ağaçta yaş-boy analizleri yapılmıştır. Örnek alanlar genel olarak doğal ve eşit yaşlı meşcerelerden alınmıştır. Örnek alanların alındığı meşcerelerin genel olarak %90'ından daha fazlası göknar ağaçlarından oluşmaktadır. Örnek alanların büyüklüğü her örnek alan içerisinde en az 30 adet örnek ağaç girecek şekilde belirlenmiş ve 400 ile 950 m^2 arasında değiştiği görülmüştür. Örnek ağaç olarak kararlaştırılan dominant ağaçlar hektarda en kalın 100 ağaç hesabı ile gövde bozukluğu ve tepesi kırık olmayan ağaçlar arasından seçilmiştir. Her örnek alandaki dominant ağaç sayısı örnek alan büyüklüğüne bağlı

olarak değişkenlik göstermektedir. Yaş-boy analizi için her örnek alanda bir örnek ağaç kesilmiştir. Bu ağacın seçiminde, meşceredeki dominant ağaç gelişimini temsil etmek amacıyla dominant ağaçların boylarının ortalama $\pm 5\%$ içindeki ağaçlardan hektarda en kalın 100 adet ağacın ortalama çapına en yakın ağaç seçilmiştir. Kesilen ağaçlar üzerinde, 0.01 m hassasiyetle toplam ağaç boyu ölçülmüştür. Kesilen ağaçlar üzerinde, seksiyon uzunlukları 0.01 m hassasiyetle ölçülmüştür. Seksiyonlar 0.3 m, 1.3 m ve 2 m aralıklarla ardışık olarak ölçülmüştür. Çift ya da gerçek olmayan halkaların var olup olmadığını anlayabilmek amacıyla kesilen seksiyonlarda yıllık halka sayıları görsel olarak sayılmıştır. Yıllık halka sayıları her ölçüm noktasında ağacın 0.30 m'deki yaşının tahmin edilmesi amacıyla kullanılmıştır (Şekil 3.5). Çalışma kapsamında toplam 562 yaş-boy ölçümü yapılmıştır. Ölçümü yapılan yaş-boy değerleri önceki çalışmaların sonuçları (Dyer ve Bailey 1987, Fabbio vd. 1994) temel alınarak Carmean (1972) yöntemi kullanılarak yaş-boy verisine dönüştürülmüştür. Örnek ağaçlara ilişkin yaş ve boy değerleri Şekil 3.6'da gösterilmiştir



Şekil 3.5. Gövde analizi amacıyla kesilen ağaçlardan alınan enine kesitler



Şekil 3.6. Örnek ağaçlara ilişkin yaş-boy grafiği

Çizelge 3.4. Boy analizi ve kesilen ağaçlar için nitelendirici istatistikler

	Değişkenler	Ortalama	Minimum	Maximum	Standart Hata
Kesilen ağaç sayısı ($n=43$)	Dbh (cm)	38.8	27.0	56.8	7.0
	Toplam Boy (m)	22.4	16.3	28.8	2.9
	Yaş (yıl)	100.0	45.0	172.0	30.9
Boy analizi	Kesit Sayısı	13.1	10.0	16.0	1.4
	Boy (m)	11.7	0.3	28.8	7.3
	Yaş (yıl)	51.6	1.0	172.0	35.9

3.2. Yöntem

3.2.1. Gövde çapı modellerine ilişkin yöntem

Literatürde değişik formlarda pek çok ağaç türü için geliştirilmiş birçok gövde çapı modeli bulunmakta (Max ve Burkhart, 1976; Cao vd., 1980; Kozak, 1988; Newnham, 1992; Clark vd., 1991; Kozak, 2004), ve ağaçlarda dipten tepeye doğru çaptaki azalışı başarılı bir şekilde tahmin edebilmelerine rağmen her ağaç türünün kendine özgü ya da yetiştirme ortamı şartlarına bağlı farklı gövde formuna sahip olmaları nedeniyle bu modellerin hiç biri “en iyi model” olarak nitelendirilmemiştir (Arias-Rodil vd., 2015).

Ormancılık çalışmalarında değişken şekil ve parçalı gövde çapı modelleri olmak üzere iki grup gövde çapı modelinin diğer model formlarına göre daha başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir (Li vd. 2012). Değişken şekil gövde çapı modellerinde bir ağaç gövdesinin, dipten uca doğru nayloid, paraboloid ve konik parçalardan oluştuğu varsayılmaktadır (Newnham, 1988; Kozak, 1988; Perez vd., 1990). Ancak bu model formu, hacim hesaplamalarında gövde üzerindeki farklı şekillerin birleştirilememesi ve en yüksekteki çap değeri için ticari boyun doğrudan hesaplanamayıp, iterasyon yoluyla elde edilmesi gibi iki dezavantaja sahiptir. Buna rağmen, bu grup gövde çapı modellerinin, özellikle gövde çapı tahmininde diğer modellere göre daha başarılı oldukları ifade edilmektedir (Kozak 1988 ve 2004; Muhairwe 1999; Rojo vd., 2005; Lumbres vd., 2016). Parçalı gövde çapı modelleri ise farklı ağaç bölümlerinin çaplarında meydana gelen düşüşleri farklı denklem formları kullanarak tanımlamaktadır. Bazı araştırma sonuçlarına göre ise parçalı gövde çapı modellerinin, diğer gövde çapı modellerine göre daha başarılı oldukları belirtilmiştir (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Figueiredo-Filho vd., 1996; Jiang vd., 2005; Dieguez-Aranda vd., 2006; Özçelik vd., 2016; Özçelik ve Crecente-Campo 2016). Parçalı gövde çapı modellerinin hacim hesaplamaları için kolaylıkla hacim denklemlerine dönüştürülebilir olması ise bu gruptaki gövde çapı modellerinin önemli avantajlarından biridir (Fang vd., 2000).

Bu çalışmada, zaman içerisinde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen birçok denklem arasından başarılı sonuçlar veren 12 adet denklem seçilerek bu modellerin

gövde çapı, ağaç boyu, ticari hacim ve toplam ağaç hacmi tahminlerindeki performansları değerlendirilmiştir. Seçilen bu modeller genel olarak basit, değişken şekil ve parçalı gövde çapı modeli olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Bu modeller Cervera (1973), Max ve Burkhart (1976), Biging (1984), Kozak (1988), Clark vd., (1991), Riemer vd. (1995), Muhairwe (1999), Fang vd. (2000), Bi (2000), Lee vd., (2003), Kozak (2004) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilmiştir. Bu modellere ilişkin temel model formları Çizelge 3.5’te görülmektedir.



Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri

Model	Denklem		
<i>Cervera (1973)</i>	$\frac{d}{D} = b_1 + b_2 \cdot X + b_3 \cdot X^2 + b_4 \cdot X^3 + b_5 \cdot X^4$	(3.1)	
<i>Max ve Burkhart (1976)</i>	$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_1 \cdot (T - 1) + b_2 \cdot (T^2 - 1) + b_3 \cdot (b_5 - T)^2 \cdot I_1 + b_4 \cdot (b_6 - T)^2 \cdot I_2$	$I_1 = \begin{cases} 1 & T \leq b_5 \\ 0 & T > b_5 \end{cases} \quad I_2 = \begin{cases} 1 & T \leq b_6 \\ 0 & T > b_6 \end{cases}$	(3.2)
<i>Biging (1984)</i>	$d = D \cdot \left[b_1 + b_2 \cdot \log\left(1 - T^{1/3}\right) \right] \cdot \left[1 - e^{\left(-b_1/b_2\right)} \right]$	(3.3)	
<i>Kozak (1988)</i>	$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot b_3^D \cdot \left[\frac{1 - \sqrt{T}}{1 - \sqrt{p}} \right]^{[b_4 \cdot T^2 + b_5 \cdot \log(T + 0.001) + b_6 \cdot \sqrt{T} + b_7 \cdot e^T + b_8 \cdot \left(\frac{D}{H}\right)]}$	(3.4)	
<i>Clark vd. (1991)</i>	$d = I_s \left(D^2 \left(1 + \frac{(b_1 + b_2/D^3)(1 - h/H)^{b_3} - (1 - 1.30/H)^{b_3}}{1 - (1 - 1.30/H)^{b_4}} \right) \right) +$ $I_B \left(D^2 - \frac{(D^2 - F^2((1 - 1.30/H)^{b_4} - (1 - 1.30/H)^{b_4}))}{(1 - 1.30/H)^{b_4} - (1 - 5.30/H)^{b_5}} \right) +$ $I_T \left(F^2 \left(b_5 \left(\frac{h - 5.30}{H - 5.30} - 1 \right)^2 + I_m \left(\frac{1 - b_5}{b_6^2} \right) \left(b_6 - \frac{h - 5.30}{H - 5.30} \right)^2 \right) \right)$	(3.5)	
	$\begin{cases} I_s = \begin{cases} 1, & h < 1.30 \\ 0, & h > 1.30 \end{cases} \\ I_B = \begin{cases} 1, & 1.30 < 5.30 \\ 0, & h < 5.30 + b_6(H - 5.30) \end{cases} \end{cases} \quad \begin{cases} I_T = \begin{cases} 1, & h > 5.30 \\ 0, & h < 5.30 + b_6(H - 5.30) \end{cases} \\ I_M = \begin{cases} 1, & h > 5.30 \\ 0, & h < 5.30 + b_6(H - 5.30) \end{cases} \end{cases}, F = D(p_1 + p_2(5.30/H)^2)$		

Çizelge 3.5. Çalışmada kullanılan gövde çapı modelleri (Devam)

Riemer (1995)	vd.	$d = \frac{b_1 \cdot D}{1 - e^{b_3 \cdot (1.3-H)}} + \left(\frac{D}{2} - b_1 \cdot D\right) \cdot \left[1 - \frac{1}{1 - e^{b_2 \cdot (1.3-H)}}\right] + e^{-b_2 \cdot h} \cdot \left[\frac{\left(\frac{D}{2} - b_1 \cdot D\right) \cdot e^{1.3 \cdot b_2}}{1 - e^{b_2 \cdot (1.3-H)}}\right] - e^{b_3 \cdot h} \cdot \left[\frac{b_1 \cdot D \cdot e^{-b_3 \cdot H}}{1 - e^{b_3 \cdot (1.3-H)}}\right]$	(3.6)
Muhairwe (1999)		$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot b_3^D \cdot [1 - \sqrt{T}]^{(b_4 \cdot T^2 + (b_5/T) + b_6 \cdot D + b_7 \cdot H + b_8 \cdot (D/H))}$	(3.7)
Fang vd. (2000)		$d = c_1 \sqrt{H^{(K-b_1)/b_1} (1-T)^{(K-\beta)/\beta} \alpha_1^{I_1+I_2} \alpha_2^{I_2}}, \begin{cases} I_1 = 1, p_1 \leq T \leq p_2; 0 \\ I_2 = 1, p_2 < T \leq 1; 0, p_1 = h_1/H, p_2 = h_2/H \end{cases}$ $\beta = b_1^{1-(I_1+I_2)} b_2^{I_1} b_3^{I_2}, \alpha_1 = (1-p_1)^{(b_2-b_1K)/b_1 b_2}, \alpha_2 = (1-p_2)^{(b_3-b_2K)/b_2 b_3},$ $r_0 = ((1-h_{st})/H)^{K/b_1}, r_1 = (1-p_1)^{K/b_1}, r_2 = (1-p_2)^{K/b_2}, c_1 = \sqrt{\frac{a_0 D^{a_1} H^{a_2 - k/b_1}}{b_1(r_0-r_1) + b_2(r_1-\alpha_1 r_2) + b_3 \alpha_1 r_2}}$	(3.8)
Bi (2000)		$\left(\frac{d}{D}\right) = \left[\log \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot T\right) / \log \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1.3}{H}\right)\right]^{b_1 + b_2 \cdot \sin((\pi/2) \cdot T) + b_3 \cdot \cos((3\pi/2) \cdot T) + b_4 \cdot \sin((\pi/2) \cdot T) / T + b_5 \cdot D + b_6 \cdot T \cdot \sqrt{D} + b_7 \cdot T \cdot \sqrt{H}}$	(3.9)
Lee vd. (2003)		$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot (1-T)^{b_3 \cdot T^2 + b_4 \cdot T + b_5}$	(3.10)
Kozak (2004)		$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot H^{b_3} \cdot \left[\frac{1 - T^{1/3}}{1 - p^{1/3}}\right] \left[b_4 \cdot T^4 + b_5 \cdot (1/e^{D/H}) + b_6 \cdot \left(\frac{1-T^{1/3}}{1-p^{1/3}}\right)^{0.1} + b_7 \cdot \left(\frac{1}{D}\right) + b_8 \cdot H^{1-(\frac{h}{H})^{1/3}} + b_9 \cdot \left(\frac{1-T^{1/3}}{1-p^{1/3}}\right)\right]$	(3.11)
Sharma Zhang (2004)	ve	$d = D \left(a_0 \left(\frac{H-h}{H-1.3}\right) \left(\frac{h}{1.3}\right)^{2-(b_1+b_2T+b_3T^2)}\right)^{0.5}$	(3.12)

D: Kabuklu göğüs çapı (cm); H: Toplam ağaç boyu (m); h: ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m); d: yerden h yüksekliğinde ölçülen kabuklu çap h (cm); b_i ve p: regresyon katsayıları; V_m: Kabuklu gövde hacmi (m³); X=((H-h)/(H-1.30)); T=h/H; K=π/40,000 ve Z=((H-h)/(H))

Geçmişten günümüze gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde en küçük kareler yöntemini temel alan geleneksel regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Ancak en küçük kareler yöntemi ile gövde çapı modellerinin geliştirilmesi ile ilgili olarak bazı temel problemlerde bulunmaktadır. En sık karşılaşılan problemlerden biri ise çoklu bağıntı ve otokorelasyon problemidir (Kozak, 1997). En küçük kareler (OLS: Ordinary Least Squares) yaklaşımındaki temel varsayım hata terimlerinin ilişkisiz rassal değerler olması gerekliliğidir, ancak bu kural aynı ağaç üzerinde düzenli ya da düzensiz aralıklarla ölçülen pek çok çap ölçümünün kullanılıyor olması, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde ihlal edilmektedir. Buna bağlı olarak model katsayılarının standart hataları da ciddi bir şekilde etkilenmektedir. Kozak (1997), gövde çapı modellerinin geliştirilmesi sırasında ortaya çıkabilecek olan otokorelasyon probleminden kaçınmak ve çoklu bağıntıyı azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizlerinde bağımsız değişkenler arasında olabilecek güçlü ilişkiler çoklu bağıntı olarak tanımlanmaktadır. Çoklu bağıntının varlığının değerlendirilmesi ve ölçülmesinde ise Koşul Sayısı (Condition Number-CN) kullanılmaktadır. Koşul sayısı temel olarak korelasyon matrisinin en küçük ve en büyük özdeğerinin oranının karekökü olarak ifade edilebilir. Besley (1991), 5-10 arasındaki koşul sayısının, çoklu bağıntı probleminin olmadığına; 30-100 arasındaki koşul sayısının, muhtemel bir çoklu bağıntı probleminin varlığına; 1000-3000 arasındaki koşul sayısının ise şiddetli bir çoklu bağıntı probleminin göstergesi olacağını ifade etmiştir. Myers (1990) ise, koşul sayısının 32'den büyük olması durumunda çoklu bağıntı probleminin varlığından söz etmiştir. Xu (2009), çoklu bağıntı probleminin modeldeki parametre sayısı ile doğrudan ilişkili olduğunu, modeldeki parametre sayısının artmasının çoklu bağıntı probleminin ortaya çıkma ihtimalini arttıracığını belirtmiştir.

Bu çalışmada otokorelasyonu elimine edebilmek için 2. derece otoregresif hata yapısı (CAR(X)) kullanılmıştır. Otokorelasyonun varlığını sınamak için otoregresif hata yapısının farklı indeksleri kullanılarak, her ağaç için gözlenen değerlerin artıklarına karşılık gelen tahmin edilen değerlerin artıkları görsel olarak incelenmiştir. Bu amaçla SAS istatistik analiz programındaki MODEL prosedürü kullanılmıştır (SAS Institute, 2013).

Çalışma kapsamında herhangi bir çapın bulunduğu boyun tahmini için bir tekrarlamalı sayısal çözüm yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla “Bisection” metodu kullanılmıştır. Buna ilave olarak, her çap değeri için ticari hacim değerleri SAS programındaki “QUAD” alt sekmesi yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2.1.1. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler

Geliştirilen gövde çapı modellerinin gövde çapı, toplam ağaç boyu, ticari hacim ve toplam ağaç hacmi tahminlerindeki başarılarının değerlendirilmesinde Belirtme Katsayısı (R^2), Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), Akaike'nin Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesian Bilgi Kriteri (BIC) olmak üzere 4 temel ölçüt değeri kullanılmıştır. Bu kriterlerden, belirtme katsayısı dışındaki bütün ölçütler için, en küçük değere sahip olan model en iyi olarak nitelendirilmiş ve buna göre modellerin nispi sıraları hesaplanmıştır.

Bu ölçüt değerleri kullanılarak modellerin hangisinin ya da hangilerinin daha başarılı olduğuna karar vermek amacıyla Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen model nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler yardımı ile model başarı sıralamasına karar verilirken, m tane yöntemin sıralaması, 1, 2, ..., m şeklinde ifade edilmektedir. Bu sıralama biçimi yöntemlerin sıralamasını doğru olarak gösterse de yöntemlerle elde edilen sonuçlar arasındaki nicel farklı ifade edememektedir (Poudel ve Cao, 2013; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016). Bu çalışmada hem modellerin başarı sırasını hem de her bir modelin ne kadar başarılı olduğunu ortaya koyabilmek için Poudel ve Cao (2013) tarafından geliştirilen nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemiyle, karşılaştırılan metodların birbirine olan nispi yakınlıkları hakkında daha gerçekçi bilgi edinilebilecektir.

3.2.2. Karışık etkili modelleme yaklaşımı ile gövde çapı modelinin geliştirilmesi ilişkin yöntem

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde her ağaç gövdesi üzerinde düzenli ya da düzensiz aralıklarla ölçülen ardışık çap değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, aynı ağaç üzerinde ölçülen bu çap değerleri arasında bir ilişki bulunmakta ve

ilişkiden kaynaklanan problemler geleneksel regresyon yöntemlerinin kullanılması ile ortadan kaldırılamamaktadır (Leites ve Robinson, 2004; Trincado ve Burkhart, 2006; Sharma ve Parton, 2009). Bu problem regresyondaki kovaryans matrisinin yansız tahmini için bağımsız gözlemlerin bulunması şartını ortadan kaldırmaktadır. Bu probleme çözüm olarak son yıllarda, karışık etkili modeller gövde çapı modellerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Çünkü bu modeller aynı ağaç üzerinde fazla sayıdaki çap ölçümleri arasındaki ilişkiyi dikkate almaktadırlar (Leites ve Robinson, 2004; Trincado ve Burkhart, 2006; Sharma ve Parton, 2009). Karışık etkili modeller, gövde formundaki ağaçlar arası ve ağaç içi varyasyonları doğrudan hesaplayabilmektedir. Buna ek olarak, bir karışık etkili gövde çapı modeli bir ya da daha fazla ekstra gövde çapı ölçümü kullanılarak tesadüfi etkilerin tahmini ile belirli bir ağaç için kalibre edilebilmektedir (Cao ve Wang, 2011).

Son yıllarda karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı modelleri geliştirilmiştir (Garber ve Maguire, 2003; Leites ve Robinson, 2004; Sharma ve Parton, 2009; Lejeune vd., 2009; Fonweban vd., 2011, Cao ve Wang, 2011). Bu kapsamda Max ve Burhart (1976) tarafından geliştirilen parçalı gövde çapı modeli ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen değişken şekil gövde çapı modeli yaygın olarak kullanılmıştır. Karışık etkili modeller hem topluma özel hem de bireye özel değişkenliği açıklayabilmektedir. Karışık etkili modelleme tekniğinin kullanımı farklı kaynaklardan ortaya çıkan değişkenliği açıklayabiliyorken, modelin sabit etkili parçası bu değişimi açıklayamamaktadır (Calama ve Montero, 2006). Burkhart ve Tome (2012) tarafından da ifade edildiği gibi geleneksel regresyon modellerinin aksine karışık etkili modeller ilişkili veri yapısına sahip modellerin varyans-kovaryans matrisinin modellenmesine izin vermesi ve hem de model yapısında sabit etkili ve tesadüfi etkili parametreleri içermesi nedeniyle daha avantajlıdır.

Yapılan çalışmaların (Martin, 1981; Parresol vd., 1987; Clark vd., 1991, Sharma ve Burkhart, 2003; Jiang vd., 2005; Dieguez-Aranda vd., 2006; Özçelik vd., 2016; Özçelik ve Crecente-Campo, 2016), gövde çapı tahminlerinde, parçalı gövde çapı modellerinin, değişken şekil gövde çapı modellerine göre daha başarılı olduğunu göstermiş olması ve özellikle karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak gövde çapı modelinin geliştirilmesinde Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen

modelinin daha yoğun olarak kullanılmış olması (Trincado ve Burkhart, 2006; Özçelik vd., 2011; Cao ve Wang, 2015; Gomez-Garcia vd., 2016) bu çalışmada doğal Toros göknarı meşcereleri için gövde çapı modelinin geliştirilmesi amacıyla Max ve Burkhart (1976) modelinin tercih edilmesine neden olmuştur.

Max ve Burkhart (1976) modeli aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_1 \cdot (T - 1) + b_2 \cdot (T^2 - 1) + b_3 \cdot (a_1 - T)^2 \cdot I_1 + b_4 \cdot (a_2 - T)^2 \cdot I_2 \quad (3.13)$$

$$I_1 = \begin{cases} 1 & T \leq a_1 \\ 0 & T > a_1 \end{cases} \quad I_2 = \begin{cases} 1 & T \leq a_2 \\ 0 & T > a_2 \end{cases} \quad T = \frac{h}{H}$$

Burada,

$$I_1 = \begin{cases} 1 & T \leq a_1 \\ 0 & T > a_1 \end{cases}$$

$$I_2 = \begin{cases} 1 & T \leq a_2 \\ 0 & T > a_2 \end{cases}$$

$$T = \frac{h}{H}$$

H : ölçüm noktasının yerden yüksekliği (m),

H : toplam ağaç boyu (m),

D : kabuklu göğüs çapı (cm),

d : yerden h yüksekliğinde ölçülen kabuklu çap (cm)

$b_1 \dots b_4$: regresyon katsayıları,

a_1, a_2 : örneklerden tahmin edilen katılma noktalarıdır.

Bu çalışmada karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak gövde çapı modelinin geliştirilmesinde, Pinheiro ve Bates (2000) ve Lindstrom ve Bates (1990) tarafından yapılan çalışmalar temel alarak gerçekleştirilmiştir. NLME yaklaşımı ilgili teori ve hesaplama yöntemlerine ilişkin detaylı bilgiler bu kaynaklardan sağlanabilir. NLME yaklaşımından doğru bir şekilde faydalanabilmek amacıyla, ağaçlar içi ve ağaçlar arası varyasyonlar iki ayrı aşamada değerlendirilmektedir. Karışık etkili model hem sabit etkileri (popülasyona özgü) hem de tesadüfi etkileri (bireye özgü) içermektedir. Karışık etkili modellerin geliştirilmesinde en önemli soru; modeldeki parametrelerin hangilerinin sabit etkili, hangilerinin karışık etkili (hem sabit hem de tesadüfi etkili)

olacağıdır. Bu durum için iki farklı yaklaşım önerilmektedir. Bunlardan ilki, modeli her birey için bağımsız olarak çözmektir (Fang ve Bailey, 2001). Ancak bunun uygulanabilmesi için örneklenen her birey üzerinde çok sayıda ölçüm yapılması gerekmektedir. İkinci yaklaşımda ise sabit ve tesadüfi etkili farklı parametre kombinasyonlarının çözülmesi ve en başarılı olan kombinasyonun tercih edilmesi önerilmektedir. En başarılı kombinasyonların seçiminde ise Akaike'nin Bilgi Kriteri (AIC), Bayesian Bilgi Kriteri (BIC) ve 2 kez negatif logaritmik olabilirlik fonksiyonu (-2LL)'ndan yararlanılmaktadır.

3.2.2.1. Karışık-etkili modelleme ile gövde çapı modelinin geliştirilmesinde izlenen genel yöntem

I. Aşama: Birey içi varyasyon

i . bireyin ölçülen değerleri ile ilgili olarak rassal ve sistematik varyasyonu temsil eden NLME modelin genel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y_{ij} = f(\beta_i, x_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n_i \quad (3.14)$$

Burada; Y_{ij} i . örnek ağaçtaki j . gözlemin değerini, X_{ij} i . örnek ağaçtaki j . gözlem için tahmin vektörünü, $f(\cdot)$; parametre ve tahmin vektörlerinin doğrusal olmayan fonksiyonunu ve ε_{ij} normal dağılım gösteren hata terimini ifade etmektedir. Bir gövde profili denklemi içerisinde n ve n_i sırasıyla; toplam ağaç sayısını ve bir ağaç gövdesi boyunca ölçülen çap değerlerini göstermektedir. Bu ifade, bir ağacın gövdesi üzerinde gerçekleştirilen tekrarlı ölçüm durumunu göstermektedir. Özel bir birey veya i . küme için y_{ij} yanıtları $[y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}]^T$ vektörü ile birleştirilebilir ve genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$y_i = f(\beta_i, x_i) + e_i \quad (3.15)$$

$$e_i | \beta_i \sim N(0, R_i(\beta_i, \xi)), \quad \xi = [\sigma, \theta', \rho']^T \quad (3.16)$$

Burada; $R_i(\beta_i, \xi)$ varyans-kovaryans matrisini; ξ ise tüm bireyler için $[\sigma, \theta', \rho']^T$ bilinmeyen parametre vektörünü göstermektedir. Bireyler içindeki hiyerarşik

varyasyon hata terimlerinin tesadüfi dağılımı ile ilgili varsayım ve doğrusal olmayan fonksiyon yardımı ile 3.16 no'lu denklem ile ifade edilebilir.

Hata terimlerinin varyans-kovaryans matrisi birey içi varyans ve otokorelasyonu açıklamak için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$R_i(\beta_i, \xi) = \sigma^2 G_i^{\frac{1}{2}}(\beta_i, \theta) \Gamma_i(\rho) G_i^{1/2} \quad (3.17)$$

Burada; $G_i^{1/2}(\beta_i, \theta)$ birey içi varyansı gösteren $(n_i \times n_i)$ boyutlarındaki çapraz matrisi, $\Gamma_i(\rho)$ ise; i. bireyin ölçümleri içindeki korelasyon kalıbını tanımlayan $(n_i \times n_i)$ boyutundaki bir matrisi göstermektedir. σ^2 ise modelin hatalara ilişkin varyansını ifade etmektedir.

Eğer birey içi varyans homojen ve hata terimleri bağımsız ise varyans-kovaryans matrisi aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$R_i = \sigma^2 \Gamma_i(\rho) \quad (3.18)$$

II. Aşama: Bireyler arası varyasyon

Ağaçlar arası varyasyon için parametre β_i 'in tahmini ağaçtan ağaca değişkenlik göstermektedir. Parametre vektörü β_i , sistematik ve tesadüfi varyasyon göz önünde bulundurularak aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$\beta_i = A_i \beta + B_i b_i \quad b_i \sim N(0, D) \quad (3.19)$$

Burada; A_i ve B_i sabit ve tesadüfi etkili parametreler için form parametreleridir. β $(r \times p)$ büyüklüğünde sabit etkili parametre vektörünü; b_i ise $(q \times 1)$ büyüklüğünde i. ağaç için tesadüfi etkili parametre vektörünü göstermektedir. D tesadüfi etkili parametreler için varyans-kovaryans matrisini ifade etmektedir. p, q ise sırasıyla, modeldeki sabit ve tesadüfi etkili parametrelerin sayısını ifade etmektedir. Bu form matrisleri sabit ve tesadüfi etkili parametreler için 0 ve 1 değerlerini içermektedir.

Bu çalışmada gövde profili modeli olarak Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen model tercih edilmiştir. Bu amaçla NLME yaklaşımı ile modelin geliştirilebilmesi için R Platformundaki NLS fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu fonksiyon ile öncelikle tüm parametrelerin sabit etkili olduğu durum test edilmiştir. Ardından bir ve iki parametrenin tesadüfi etkili olduğu parametre kombinasyonları test edilmiştir. Bir başka deyişle, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \alpha_1$ ve α_2 parametrelerinin bir ve ikili tesadüfi etkili parametre kombinasyonları test edilmiştir. Çalışma kapsamında toplamda 21 farklı kombinasyon test edilerek, en başarılı tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesi için Akaike'nin bilgi kriteri (AIC, Akaike, 1974), Schwarz'nın Bilgi Kriteri (BIC, Schwarz, 1978) ve iki kez negatif logaritmik olabilirlik ($-2Ln(L)$) kriterleri kullanılmıştır. Uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun belirlenmesinin ardından farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiştir. Buna göre, Max ve Burkhart tarafından geliştirilen gövde profili modelinin karışık etkili formu aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$y_{ij} = \beta_{1i}(x_{ij} - 1) + \beta_{2i}(x_{ij}^2 - 1) + \beta_{3i}(\alpha_{1i} - x_{ij})^2 I_1 + \beta_{4i}(\alpha_{2i} - x_{ij})^2 I_2 + e_{ij} \quad (3.20)$$

Burada,

$$I_k = \begin{cases} 1 & x \leq a_{ki} \\ 0 & x > a_{ki} \end{cases} \quad k = 1, 2$$

$$y_{ij} = d_{ij}^2 / D_i^2$$

$$x_{ij} = h_{ij} / H_i$$

h_{ij} = i . birey için yerden yüksekliği (m),

H_i = i . birey için ağaç boyu (m),

D_i = i . birey için kabuklu göğüs çapı (cm),

d_{ij} = i . birey için h_{ij} yüksekliğindeki deki çap (cm),

$\beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}, \beta_{4i}, \alpha_{1i}, \alpha_{2i}$ = tahmin edilen parametreler,

e_{ij} = hata terimidir.

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesi için gerekli verinin toplanması aşamasında, aynı ağaç üzerinde çok sayıda tekrarlanan ölçüm yapıldığından, aynı ağaç üzerinde ölçülen değerler arasında bir korelasyon oluşması muhtemeldir. Geliştirilen modele tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesi, ağaç gövdesi boyunca meydana gelen çap düşüşündeki varyasyonun açıklanmasına yardımcı olabilmektedir.

Hata teriminin varyans-kovaryans matrisini ifade edebilmek için otokorelasyon ve değişen varyans sorununu tanımlamak gerekmektedir. Bazı çalışmalar (Yang vd., 2009; Sharma ve Parton 2009) modele tesadüfi değişken eklenerek ağaç içi korelasyonların tamamen giderilebildiğini gösterse de bu her zaman mümkün olmayabilir (Trincado ve Burkhart, 2006; Gomez-Garcia vd., 2013; Arias-Rodil vd. 2015; Gomez-Garcia vd., 2016). Bu amaçla, özellikle ölçümlerin eşit aralıklarla yapılmadığı durumlarda, modele sürekli otoregresif hata yapısının eklenmesi, karışık etkili model yapısı itibariyle de uygun bir yaklaşım olacaktır. Diğer yandan değişen varyans sorununun değerlendirilebilmesi için çözülen modeldeki hata dağılımları analiz edilebilir.

Yeni bir gözlem için tahmin (Kalibrasyon)

Karışık etkili modelleme yaklaşımında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir konu da modelin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesidir. Kalibre edilmiş bir modelin daha tutarlı ve doğru tahminler yapabildiği belirtilmektedir (Calama ve Montero, 2006; Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009A; Cao ve Wang, 2011; Gomez-Garcia vd., 2016). Bir gövde çapı modelinin temel amacı, henüz üzerinde herhangi bir ölçüm yapılmamış olan bir ağaçta farklı çap değerlerini tahmin edebilmektir. Karışık etkili modelleme tekniğinin, geleneksel regresyon modellerine olan üstünlüğü ise, karışık etkili modellerin hem bireye özgü hem de topluma özgü parametreleri bünyesinde barındırıyor olmasıdır. Bu özelliği sayesinde, karışık etkili modeller, yeni bir birey için ön bilgilerin mevcut olmaması durumunda, daha etkili tahmin yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Trincado ve Burkhart (2006), kalibrasyon işlemi ile bir gövde çapı modelinin tahmin başarısının arttırılabileceğini ve tahmin için ekstra ölçümlere olan ihtiyacı azaltacağını belirtmişlerdir.

Durum 1: Ortalama yanıt tahmini

Şayet bir ağaca ilişkin ön bilgiler mevcut değilse, o ağaç için tesadüfi etkili parametrelerin tahmini mümkün olmamaktadır. Tesadüfi etkiler ($E(b_k) = 0$) için beklenen tahminlerin kullanımı tek seçimdir. Sabit etkili parametre tahminlerini kullanarak bir ağaç gövdesi üzerindeki ortalama çap değerlerini tahmin edebiliriz.

Durum 2: Kalibrasyon yanıtı tahmini

Kalibrasyon yanıtı bir ağaç gövdesi üzerinde daha önceden ölçülmüş çap değerlerine ilişkin bilgileri gerektirir. Bu ilave bilgiler kullanılarak tesadüfi etkiler vektörü b_k tahmin edilebilir. Hesaplamalar aşağıda verilen b_k 'nin uygun Bayesian tahmincisi kullanılarak yapılabilir (Vonesh ve Chinchilli 1997). Veri setindeki yeni bir ağaç için ağaca özgü tahminler yapabilmek için, b_k tesadüfi etkiler vektörünün tahmini için iliği ağaçtan en az bir ekstra çap ölçümü yapılması gerekmektedir. FOCE metodu için bu vektör aşağıdaki ifade ile kullanılarak yapılabilir.

$$\hat{b}_k \approx \hat{D}\hat{Z}_k^T(\hat{Z}_k\hat{D}\hat{Z}_k^T + \hat{R}_k)^{-1}\hat{e}_k \quad \hat{D}\hat{Z}_k^T(\hat{Z}_k\hat{D}\hat{Z}_k^T + \hat{R}_k)^{-1}(y_k - f(A_k, \hat{\beta}, \hat{b}_k) + Z_k\hat{b}_k) \quad (3.21)$$

Burada:

\hat{D} = tesadüfi etkiler için $q \times q$ boyutlarındaki varyans-kovaryans matrisi,

\hat{R}_k = hata terimi için $k \times k$ boyutlarındaki varyans-kovaryans matrisi,

$$\hat{e}_k = y_k - f(A_k\beta, x_k) \quad (3.22)$$

$$\hat{Z}_k = \left. \frac{\partial f(A_k\beta, x_k)}{\partial \beta_k'} \right|_{\beta=\hat{\beta}} \cdot B_k \quad (3.23)$$

Denklem 3.26'da b_k denklemin her iki tarafında da bulunduğu için denklem tekrarlanarak çözümlenmelidir. b_k tahmin edildiği zaman, i. ağaç için y_k çaplarının tahmin edilen vektörü FOCE metodu için aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\hat{y}_k = f(A_k\beta, x_k) \quad (3.24)$$

Tesadüfi etkili parametre tahmini konusunda detaylı bilgiler Fang ve Bailey (2001) ve Trincado ve Burkhart (2006) tarafından yapılan çalışmalarda bulunabilmektedir. Bu çalışma kapsamında karışık etkili modelin kalibrasyon yanıtlarının belirlenmesi konusunda Trincado ve Burkhart (2006), Yang vd., (2009A); Yang vd., (2009B) ve Sharma ve Parton (2009)'un çalışmalarında önerdiği farklı senaryolar incelenmiştir.

Yapılan önceki çalışmalar bir veya iki ekstra çap ölçümü ile yapılan kalibrasyon alternatifleri arasında önemli farklılıkların olmadığını göstermiştir (Trincado ve Burkhart, 2006; Yang vd., 2009; Gomez-Garcia vd., 2013; Arias-Rodil vd., 2015; Gomez-Garcia vd., 2016). Bu nedenle, bu çalışmada da tek çap ölçümü ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu durum aynı zamanda ekstra çap ölçümleri için gerekli olan maliyeti de azaltmaktadır.

3.2.2.2. İstatistiksel analiz

Daha önce de belirtildiği gibi, gövde çapı modeli geliştirebilmek için aynı ağaç üzerinde düzenli ya da düzensiz aralıklarla tekrarlı birçok ölçüm gerektiğinden, ölçülen bu değerler arasında çoklu bağıntı ve otokorelasyon problemi meydana gelmektedir. Yapılan çalışmalar, ağaç içi ve ağaçlar arası otokorelasyonun giderilmesi için modele bazı tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesinin yeterli olduğunu gösterse de (Tasissa ve Burkhart, 1998; VanderSchaaf ve Burkhart, 2007; Yang vd., 2009a; Yang vd., 2009b; Sharma ve Parton, 2009), diğer bazı çalışmalar ise bunun her zaman mümkün olmayacağını göstermiştir (Garber ve Maguire, 2003; Trincado ve Burkhart, 2006; Garcia-Gomez vd., 2013; Arias-Rodil vd., 2015; Garcia-Gomez vd., 2016). Bu çalışmada tesadüfi etkili parametrelerin eklenmesi ile otoregresif hata yapısının ortadan kaldırılamaması durumunda, örnek ağaçlar üzerindeki çap ölçümlerinin sabit bir aralıkla yapılması nedeniyle modele birinci sıra otoregresif hata yapısı (AR (1))'in eklenmesi kararlaştırılmıştır. AR(1) *ki*. birey için kovaryans yapısı $\rho^{|k_i-k_i'|}$ dir.

Sabit ekili parametreler ile tesadüfi etkili vaktörün varyans-kovaryans parametreleri R yazılımının (R Core Team, 2013) NLME paketi altında yer alan nlme fonksiyonu ile elde edilmiştir. Bu metotla elde edilen sonuçlar, tesadüfi parametrelerinin Taylor serisinin birinci derece açılımıyla elde edilmektedir. NLME paketindeki açılım metodu Lindstorm ve Bates (1990) tarafından önerilmiş olan birinci derece koşullu olasılık tahmini (FOCE) olarak adlandırılmakta ve doğrusallaştırma, hesaplanan en hatasız doğrusal tahminlerin tesadüfi parametreler olarak kabul edilmesi ile sağlanmaktadır (Yang ve Huang, 2013). Yeni bir ağacın SS tahmini sırasında birinci derece koşullu olasılık tahmini yöntemini kullanmanın en önemli avantajlarında birisi de temel modeldeki sabit etkili parametrelere tesadüfi etkili parametrelerin direkt olarak eklenmesidir. Bu sayede temel model biçimi ve tahminler korunmaktadır (Yang ve Huang, 2013).

NLME fonksiyonu, maksimum olasılık (MLE) ve kısıtlı maksimum olasılık (REML) şeklinde iki modelleme prosedürünün kullanımına olanak sağlamaktadır. Bunlardan ilki, alternatif modeller için karşılaştırılabilir maksimum olasılık değerleri (AIC ve BIC istatistikleri) verdiği için, çeşitli model formlarının karşılaştırılmasında kullanılmıştır. İkincisi ise modelleme aşamasında parametre tahminlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır. Çünkü varyans bileşenlerinin kısıtlı maksimum olasılık tahminleri hata içermemektedir (Littell vd. 2006).

3.2.2.3. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçütler

Tesadüfi etkili parametre içeren ve içermeyen modellerin tahmin performanslarının ve tutarlılığının karşılaştırılmasında Arabatzis ve Burkhart (1992) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Bu kapsamda en iyi tesadüfi değişken kombinasyonunun belirlenmesi amacıyla Akaike Bilgi Kriteri (AIC, Akaike, 1974), Bayesian Bilgi Kriteri (BIC, Schwarz, 1978) ve iki kez negatif logaritmik olabilirlik fonksiyonunu ($-2\ln(L)$) kriterleri kullanılmıştır.

AIC ve BIC farklı modellerin güvenilirliğinin karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan birer ölçüt değeridir. AIC, BIC ve $-2LL$ ölçütlerine göre, en küçük değerlere sahip kombinasyon en başarılı kombinasyon olarak kabul edilmiştir. Çalışmada, Gomez-Garcia vd. (2013) ve (2016) da olduğu gibi kalibrasyon işleminin

değerlendirilmesinde ortalama hata (\bar{e}), ortalama hata yüzdesi ($\% \bar{e}$) ve hata kareler ortalaması (MSE) ölçütleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan formüllerin açılımı bölüm 3.2.6’da verilmiştir.

3.2.3. Çap-boy modellerine ilişkin yöntem

Çap-boy modellerinin geliştirilmesi üç farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bazı çok yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan model formları geleneksel en küçük kareler yöntemi kullanılarak çap-boy modellerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılmış ve daha sonra bu modeller bazı başarı ölçütlerine göre sıralanmıştır. Bu başarı ölçütlerine göre modellerin nispi sıraları belirlenerek çalışmaya temel olacak doğrusal olmayan model formuna karar verilmiştir. İkinci aşamada ise sırasıyla bu model formu kullanılarak kalibre edilmiş sabit etkili model ve kalibre edilmiş karışık etkili modeller geliştirilmiştir. Diğer yandan bu modeller bazı genelleştirilmiş çap-boy modelleri ile de tahmin performansları açısından karşılaştırılmıştır.

3.2.3.1. Bazı çap-boy modellerinin karşılaştırılması ve temel model formunun seçimi

Huang vd. (2000) ve Peng vd. (2001) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılan ve başarılı sonuçlar üreten sekiz farklı doğrusal olmayan regresyon modeli kullanılarak doğal Toros göknarı meşcereleri için çap-boy modeli geliştirilmiştir. Bu doğrusal olmayan çap boy modelleri geleneksel en küçük kareler yöntemi kullanılarak ve tüm veri seti için geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan sekiz fonksiyon temel alınarak doğal Toros göknarı meşcereleri için çap-boy modellerinin geliştirilmesi ve belirlenen ölçüt değerlerine (Ortalama hata, RMSE, Ortalama mutlak hata, belirtme katsayısı, AIC ve BIC) göre çalışmanın hangi model formu esas alınarak devam ettirileceği araştırılmıştır. Belirlenen sekiz fonksiyonun matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\text{Chapman-Richards} \quad h_{ij} = 1.3 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot d_{ij}))^c \quad (3.25)$$

$$\text{Weibull} \quad h_{ij} = 1.3 + a \cdot (1 - \exp(-b \cdot d_{ij}^c)) \quad (3.26)$$

$$\text{Exponential} \quad h_{ij} = 1.3 + a \cdot \exp\left(\frac{b}{d_{ij} + c}\right) \quad (3.27)$$

$$\text{Modified Logistic} \quad h_{ij} = 1.3 + \frac{a}{1 + b^{-1}d_{ij}^{-c}} \quad (3.28)$$

$$\text{Monserud} \quad h_{ij} = 1.3 + \exp(a + b \cdot d_{ij}^c) \quad (3.29)$$

$$\text{Korf-Lundgvist} \quad h_{ij} = 1.3 + a \cdot \exp(-b \cdot d_{ij}^{-c}) \quad (3.30)$$

$$\text{Gompertz} \quad h_{ij} = 1.3 + a \cdot \exp(-b \cdot \exp(-c \cdot d_{ij})) \quad (3.31)$$

$$\text{Schnute} \quad h_{ij} = \left(1.3^a + (b^a - 1.3^a) \frac{1 - \exp(-c \cdot d_{ij})}{1 - \exp(-c \cdot 100)}\right)^{\frac{1}{a}} \quad (3.32)$$

Bu formüllerde, h_{ij} : i . Örnek alandaki j . ağacın boyunu, d_{ij} : i . örnek alandaki ve j . ağacın göğüs çapını a , b ve c : model katsayılarını ifade etmektedir.

3.2.3.2. Kalibre edilmiş sabit etkili model

Temesgen vd. (2008), i . meşcerede bulunan n_{im} ağacın boy değeri biliniyorsa, aynı meşcerede bulunan diğer ağaçların boy tahmininde aşağıdaki düzeltme faktörü ile sabit etkili modelin kalibrasyon işleminin yapılabileceğini belirtmektedir.

$$k^* = \frac{\sum_{j=1}^{n_{im}} [(\hat{h}_{hi} - 1.30)(h_{ij} - 1.30)]}{\sum_{j=1}^{n_{im}} (\hat{h}_{ij} - 1.30)} \quad (3.33)$$

Burada, k^* düzeltme faktörü, \hat{h}_{hi} temel çap-boy denkleminde elde edilen boy değerini ve h_{ij} ilgili ağacın ölçülen boy değerini ifade etmektedir. Böylece aynı meşcerede bulunan bir ağacın boy tahmini aşağıdaki gibi kalibre edilebilmektedir.

Aşağıda, Gompertz modeli kullanılarak kalibre edilmiş sabit etkili modele ilişkin bir örnek verilmiştir.

$$\tilde{h}_{ij} = 1.3 + k^* \beta_1 \exp(-\beta_2 \exp(-\beta_3 d_{ij})) \quad (3.34)$$

3.2.3.3. Karışık etkili çap-boy modeli

Karışık etkili çap-boy denkleminin geliştirilmesi için öncelikle yukarıda verilen temel çap-boy denklemlerinden en başarılı olanı belirlenmiştir. Daha sonra bu model karışık etkili modelleme yaklaşımı kullanılarak doğal Toros göknarı meşcereleri için çap-boy modeli geliştirmek amacıyla kullanılmıştır.

Karışık etkili çap-boy modelinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan temel iş aşamaları aşağıda verilmiştir. Daha ayrıntılı açıklamalar Özçelik vd. (2018)'den elde edilebilir.

Karışık etkili modelleme konsepti içerisinde, temel alınan modelin tüm parametreleri bütün ağaçlar için genel olan sabit etkili parametreleri ifade ederken, parametrelerin bazılarını ya da tamamına tesadüfi değişken eklenerek tesadüfi parametreler elde edilebilir. Bu tesadüfi etkili parametreler her birey için özeldir. Temel alınan model karışık etkili modelleme yaklaşımı içerisinde aşağıdaki gibi bir matris formatında yazılabilir;

$$y_i = f(b, u_i, d_i) + \varepsilon_i \quad (3.35)$$

Burada $y_i = [h_{i1}, h_{i2}, \dots, h_{in_i}]^T$, $d_i = [d_{i1}, d_{i2}, d_{i3}, \dots, d_{in_i}]^T$,

$\varepsilon_i = [\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}, \dots, \varepsilon_{in_i}]^T$, n_i i . Örnek alan için boyu ölçülen ağaçların sayısını; b ve u_i sırasıyla sabit etkili ve tesadüfi etkili sütun vektörlerinin ifade etmektedir. Bir ön kabul olarak:

$$\varepsilon_i \sim N(0, R), \text{ ve } u_i \sim N(0, D), \quad (3.36)$$

Burada R ve D çapraz matrisleri ifade ederken ε_i ve u_i 'nin bağımsız olduğu kabul edilmektedir. Denklem (5)'in sabit etkili ve tesadüfi etkili parametrelerinin elde etmek için SAS programından NLMIXED alt sekmesi kullanılmıştır (SAS Institute

Inc., 2013). *i.* örnek alanda ağaçların bir alt örneği ölçüldüğü zaman, o örnek alan için tesadüfi parametreler \mathbf{u}_i birinci sıra Taylor serisi genişlemesinden hesaplanabilmektedir (Meng ve Huang, 2009):

$$\hat{\mathbf{u}}_i^{k+1} = \hat{\mathbf{D}}\mathbf{Z}_i^T(\mathbf{Z}_i\hat{\mathbf{D}}\mathbf{Z}_i^T + \hat{\mathbf{R}})^{-1}[\mathbf{y}_i - f(\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{u}}_i^k, \mathbf{d}_i) + \mathbf{Z}_i\hat{\mathbf{u}}_i^k] \quad (3.37)$$

Burada $\hat{\mathbf{u}}_i^k$ *k.* iterasyonda *i.* örnek alan için tesadüfi parametrelerin tahminini; $\hat{\mathbf{D}}$, \mathbf{D} 'nin tahmini, \mathbf{u}_i için varyans-kovaryans matrisi, $\mathbf{Z}_i = \left. \frac{\partial f(\mathbf{b}, \mathbf{u}_i, \mathbf{d}_i)}{\partial \mathbf{u}_i} \right|_{\hat{\mathbf{b}}, \hat{\mathbf{u}}_i}$, \mathbf{R} , ε_i için varyans-kovaryans matrisi, \mathbf{y}_i ölçülen boy değerleri için $m \times 1$ boyutlarındaki vektörü ve m *h-d* eğrisini kalibre etmek için kullanılan ölçülen ağaçların sayısı. \mathbf{u}_i 'yi tahmin etmek için bir iterasyon ilmine ihtiyaç vardır. Bir boş başlangıç değeri kullanılarak ($\hat{\mathbf{u}}_i^0 = 0$), denklem 3.46 iki ardışık iterasyon arasındaki mutlak fark karşılaştırılan tolerans limitinden daha küçük oluncaya kadar tekrarlanarak güncellenmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin performanslarının değerlendirilmesinde Ortalama Fark (MD) Mutlak Ortalama Fark (MAD), Uyum İndeksi (FI) ve Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE) ölçüt değerleri kullanılmıştır. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan formüllerin açılımı bölüm 3.2.6'da verilmiştir.

3.2.4. Çap dağılım modellerine ilişkin yöntem

Johnson's S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF); Johnson (1949) tarafından geliştirilmiş olan dağılım sisteminin bir bileşenidir. Johnson tarafından geliştirilen dağılım tipleri S_U , S_L ve S_B sırasıyla, sınırsız değişkenler, bir ucundan sınırlandırılmış değişkenler ve alt ve üst ucundan sınırlandırılmış değişkenler içindir. X değişkeni için PDF S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem 3.38'deki gibi ifade edilebilmektedir.

$$f(x) = \frac{\delta\lambda}{\sqrt{2\pi}(x-\xi)(\xi+\lambda-x)} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{x-\xi}{\xi+\lambda-x}\right)\right]^2\right), \quad x \in (\xi, \xi + \lambda) \quad (3.38)$$

Burada $\lambda, \delta > 0, -\infty < \xi < \infty, -\infty < \gamma < \infty$. λ parametresi aralığı, ξ parametresi yeri alt aralık olarak temsil etmektedir. δ ve γ parametreleri ise dağılımın biçimini kontrol eden parametrelerdir. $\gamma = 0$ simetriyi ifade etmektedir.

S_B dağılımı, biyolojik parametrelerin temsili açısından uygun olmasına neden olan iki özelliğe sahiptir. Bunlardan ilk, alt sınırı ξ ve üst sınırı $\xi + \lambda$ nedeniyle, S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu değişkenlerin kendi doğal sınırları içerisinde tahmin yapabilmesini vermektedir. Diğeri ise, geniş bir dağılım alanı içerisinde sahip olduğu 2 parametre ile ihtiyaç duyulan esnekliğe sahip olmasıdır (Fonseca vd., 2009). Johnson's S_B dağılımın parametreleri maksimum olabilirlik, moment, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon ve yüzdelik değer metotları ile tahmin edilebilmektedir. Ormancılık uygulamalarında, büyüme ve hasılat modellerinde çap dağılımının belirlenmesi konusunda Johnson's S_B dağılımının kullanılması diğer modellere göre çok fazla tercih edilmese de parametre iyileştirme metotları ve tahminleri test edilmiştir. Fakat parametre tahmin yöntemlerinin birtakım dezavantajları olduğu söylenebilir. Bunlar; bu yaklaşımın tahmin edilen meşcere değeri ve dağılımdan elde edilenle meşcere değeri arasında bir uyum sağlayamamaktadır ve parametrelerdeki varyasyonun çok küçük bir kısmı meşcere değişkenleri ile açıklanabilmektedir. Örneğin bu dağılımda fonksiyonun biçim parametresi olan yaş ile çok zayıf bir ilişki göstermektedir. Parametre tahmin yaklaşımı ile daha başarılı sonuçların elde edildiği Scolforo vd. (2003) tarafından ifade edilmektedir. Parresol (2003), S_B dağılımının parametre tahmini için 4 yüzdelik değer yöntemi, maksimum olabilirlik yöntemi ve doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yöntemlerini kullanmıştır.

3.2.4.1. Üç parametrelili çözüm (recovery) metodu

S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu dağılımını çözebilmek için uygulanacak olan genel yöntem, 4 parametrelili dağılımı 2 veya 3 parametrelili dağılıma indirgemek şeklindedir. Yer ve aralık parametrelerinden biri ya da her ikisi örnek veri setindeki azami çap değerlerinin bir fonksiyonu niteliğinde doğrudan tahmin edilebilmektedir. Modelde geriye kalan parametreler ise yüzdelik değer veya moment metodu ile çözülmektedir. Scolforo vd. (2003) şekil parametrelerini tahmin etmek için bir moment yöntemi geliştirmişlerdir. Parresol (2003), aralık ve şekil parametrelerinin

simültane çözümü için yüzelik değer yöntemini geliştirmiştir. Farklı bir seçenek olarak, parametre çözüm modelleri kullanmak suretiyle meşcere ortalama özellikleri direkt olarak tahmin edilerek ardından temel çap dağılımının tahmini için kullanılabilir. Parametre çözüm metodu regresyon ile tahmin edilen ve dağılım fonksiyonundan elde edilen meşcere özellikleri arasında uyumu sağlamaktadır. Parametre çözüm metodunu uygulayabilmek için denklem sistemi belirli ağaç özelliklerini içermeli ve S_B parametreleri tahmin edilmelidir.

Parresol (2003) üç parametrenin çözümü için yeni bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde genel olarak çap dağılımını medyan, birinci ve ikinci merkezi olmayan momentleri kullanılarak aralık ve biçim parametreleri için bir parametre çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda, yer parametresi ayrıca tahmin edilmektedir. Parresol (2003) konum parametresi “ ξ ” yi regresyon tekniği kullanarak alt sınır için tesadüfi değişken olarak göğüs çapını kullanarak bulmuştur. Tahmin edilen bu yer parametresini ve Johnson ve Kotz (1970)’de verilen dönüşüm kullanılarak, iki biçim ve aralık parametreleri çözülmektedir. S_B olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) için kapalı biçim ifadesi olmamasına rağmen eğer tesadüfi değişken $X \sim S_B(\delta, \lambda, \gamma, \delta)$ şeklinde ise, burada X göğüs çapı, ardından,

$$z = \gamma + \delta \ln[(x - \xi)/(\xi + \lambda - x)] \sim N(0, 1) \quad (3.39)$$

Yeni bir değişken verilirse,

$$y = (x - \xi)/\lambda \quad (3.40)$$

denklem 3.39’den aşağıdaki ifade yazılabilir.

$$z = \gamma + \delta \ln[y/(1 - y)] \sim N(0, 1) \quad (3.41)$$

Yeni tesadüfi değişken, Y , X gibi aynı biçim parametrelerine sahip bir dağılımı takip edecektir. Y tesadüfi değişkeni kullanılarak S_B PDF aşağıdaki gibi olacaktır.

$$f(y) = \frac{\delta}{y(1 - y)\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta \ln\left(\frac{y}{1 - y}\right)\right]^2\right), \quad 0 < y < 1 \quad (3.42)$$

Denklem 3.41'deki z 'nin düzenlenmesi ile denklem 0'a eşit olacaktır ve γ parametresi bakımından yeniden düzenlendiğinde; biçim parametresi " γ " diğer üç parametrenin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\gamma = \delta \ln\left(\frac{1}{y_{0.50}} - 1\right) \quad (3.43)$$

burada, $y_{0.50}$, Y nin medyanıdır ve $y_{0.50} = (d_{medyan} - \xi)$ olarak yazılabilmektedir. Y değişkeni bakımından X^P istatistiksel beklentisi yardımı ile

$$\bar{d} = \xi + \lambda\mu'_1(Y) \quad (3.44)$$

olarak yazılabilmektedir.

Bu eşitlik, $Y(\mu'_i, i = 1)$ 'nin ilk merkezi olmayan momentin bir fonksiyonu olarak (\bar{d}) ağaç çapını göstermektedir. Ancak, denklem 3.45 Y 'nin ilk iki merkezi olmayan momentinin bir fonksiyonu olarak meşcere göğüs yüzeyini göstermektedir. N birim alandaki ağaç sayısını ve k metrekaredeki göğüs yüzeyi için dönüşüm faktörünü ifade etmektedir ($k = \pi/40000$).

$$G = kN[\xi^2 + 2\xi\lambda\mu'_1(Y) + \lambda^2\mu'_2(Y)] \quad (3.45)$$

$$\bar{d}_G dg^2 = \xi^3 + 3\xi^2\lambda\mu'_1(Y) + 3\xi\lambda^2\mu'_2(Y) + \lambda^3\mu'_3(Y) \quad (3.46)$$

Denklem 3.46'daki ilişki, denklem 3.49'da yerine konularak, denklem 3.47 ve 3.48'deki γ 'nin eliminasyonu yapılmıştır.

$$\mu'_r(Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} [1 + e^{-(z-\gamma)/\delta}]^{-r} e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (3.47)$$

İki denklemin çözüm sistemi ve iki bilinmeyenli parametre doğrusal değildir ve sayısal yöntemle çözülmelidir. G , N ve \bar{d} , medyan çap ($d_{0.50}$) ve konum parametresinin verilen tahminleri ve Denklem 3.47 ve 3.48 δ ve λ için denklem sistemi iterasyon ile çözülmüştür. Parametre γ daha sonra denklem 3.46'dan bulunmuştur. Denklem 3.48 aşağıdaki gibi de yazılabilir.

$$dg^2 = \xi^2 + 2\xi\lambda\mu'_1(Y) + \lambda^2\mu'_2(Y) \quad (3.48)$$

Denklem 3.49 Y 'nin ilk iki merkezi olmayan momentinin bir fonksiyonu olarak kareli ortalama çapın $(dg)^2$ karesiyle ağaç çaplarının (\bar{d}_G) göğüs yüzeyi dağılımının ortalamasının sonucu şeklinde gösterilebilir.

Sonuç olarak, ξ önceden belirlenmekte, λ ve δ denklem 3.47 ve 3.48 kullanılarak iterasyon ile çözümlenerek ve aralık parametresi γ denklem 3.46 yardımı ile çözülebilmektedir. Üç parametrelili çözüm yöntemine ilişkin detaylar Parresol (2003)'de bulunabilir.

3.2.4.2. İstatistiksel değerlendirme

Geliştirilen çap dağılım modelinin performansının değerlendirmesi için ölçüt değerli kullanılmıştır. Bu kapsamda, ağaç çap sınıflarının oluşturulmasında, orman envanterinde sıklıkla kullanılan 5 cm'lik aralık değeri tercih edilmiştir. 3 parametrelili parametre iyileştirme metodunun doğal Toros göknarı meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesindeki performansını değerlendirmek amacıyla, ölçüt değerleri olarak Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi ve Reynolds vd. (1988) tarafından geliştirilen hata indeksi değeri kullanılmıştır. Qin vd. (2007) tarafından da belirtildiği gibi, düşük hata indeksi değeri her çap sınıfındaki göğüs yüzeyinin tahmin edilen ve ölçülen değerleri arasındaki farkı düşük olduğu anlamına gelmektedir. K-S istatistiğinin ise deneysel dağılım ile teorik dağılım arasındaki uyumu ortaya koymak amacıyla yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Küçük K-S değerinin, ilgili çap dağılımı yöntemiyle örnekten elde edilen dağılımın topluma uygun olduğu anlamına geldiği belirtilmiştir (Cao, vd., 2010).

Hata indeksi (EI) ağırlık fonksiyonu olarak göğüs yüzeyini kullanmak suretiyle her çap sınıfı için tahmin edilmiştir. Ağırlık fonksiyonu olarak göğüs yüzeyi kullanılmasının en önemli sebebi, göğüs yüzeyinin tam bir değer olarak hesaplanabiliyor olmasından kaynaklanmaktadır. Üstelik, ağırlık faktörü olarak göğüs yüzeyinin kullanılması, ağaç boyutlarını baz alan ekonomik farklılıkları da tahmin edebilmek için büyük ağaçlarla küçük ağaçlara aynı ağırlık değerinin verilmesinin de önüne geçmektedir.

Örneğin G_j 'nin, j . çap sınıfına ait ağaçların göğüs yüzeyini ifade ettiği varsayılmaktadır ve \hat{G}_j j . çap sınıfına ait ağaçların tahmin edilen Göğüs yüzeyi değerlerini göstermektedir. j . Çap sınıfındaki beklenen göğüs yüzeyi aşağıdaki çap sıklığı fonksiyonunun integrali aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\hat{G}_j = \int_{C_j} \frac{\pi x^2}{4} \hat{f}(x) dx \quad (3.49)$$

Burada C_j ; j . çap sınıfını göstermekte olup, \hat{f} , üç dağılım parametresinin tahmincisini kullanan Johnson S_B dağılımının dağılım fonksiyonunu ifade etmektedir. Deneysel sıklık fonksiyonunun integrali olarak tanımlanan denklem, tahmin edilen göğüs yüzeyi ile ölçülen göğüs yüzeyinin karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir.

$$G_j = \int_{C_j} \frac{\pi x^2}{4} f_{emp}(x) dx \quad (3.50)$$

Johnson's S_B dağılımının parametre tahminleri, yüzdelerik değer yöntemini baz alan parametre çözüm yöntemi ile SAS 9.1 versiyonunda geliştirilmiş olan bir program yardımı ile yapılmıştır. Bu program doğrusal olmayan Levenberg-Marquardt (NLPLM) metodu ile interaktif matris dili CAPABILITY alt prosedüründen faydalanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu programa ilişkin detaylar Parresol vd. (2010)'da bulunabilir

3.2.5. Bonitet endeks modellerine ilişkin yöntem

Bonitet endekslerinin belirlenmesi ve bonitet tablolarının oluşturulması için 5 farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar; anamorfik yöntem, polimorfik yöntem, kombine yöntem, dinamik bonitet endeks modelleri ve büyüme oran modelleridir. Yaygın olarak ta anamorfik ve polimorfik yöntem ile bonitet endeksleri belirlenmektedir (Eler ve Carus, 2006).

Geleneksel bonitetleme yaklaşımından öncelikle standart bir yaş belirlenerek, bu standart yaştaki üst sınır boy değeri, başka bir deyişle bonitet endeksi, hesaplanmaktadır. Bonitet endeksi yetiştirme ortamı verim gücünün bir göstergesi

olduğundan, meşcerenin hangi bonitet sınıfı içerisinde olduğuna, bonitet endeksine bakarak karar verilmektedir. Bonitet endeks modellerinin oluşturulmasında belirleyici bir rolü bulunan standart yaş değeri ise, ülkemizde uzun idare süresine sahip ağaçlarda 100 yıl, kısa idare süresine sahip ağaçlarda 50 yıl olarak kabul edilmektedir. Ayrıca standart yaş değeri, bonitet endekslerinin tahmininde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, aynı ağaç türü ve yetişme ortamı için düzenlenen model için standart yaş değeri değiştikçe, farklı tahminler üretilmektedir. Büyümenin doğasına aykırı olan bu durumu aşabilmek için ise, aynı bonitet endeks modeli ile farklı standart yaşlar için tahmin yapabilen “standart yaş değişmezliği” özelliğine sahip “Dinamik Bonitet Endeks Modelleri”ne ihtiyaç duyulmaktadır (Seki, 2015).

Standart yaş değişiminden etkilenmeyen söz konusu bu yöntemler ise, “Cebirsel Fark Yaklaşımı” ve “Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı” olarak ikiye ayrılmaktadır (Ercanlı, 2010). Bu yöntemler ile geliştirilen modellere ise Dinamik Bonitet Endeks Modelleri adı verilmektedir (Seki, 2015).

Cebirsel Fark Yaklaşımı (ADA) modelleri ilk olarak, Bailey ve Clutter (1974) tarafından “Standart yaşa bağlı değişmezlik (base-age invariance)” özelliğine sahip denklemler olarak tanımlanmıştır. Bu metot ile öncelikle yaş-boy ilişkisini en iyi temsil edebilecek bir büyüme modeli seçilmekte ve arından bu model, bir parametresi cebirsel olarak yeniden düzenlenerek Cebirsel Fark Yaklaşımı model yapısına çevrilmektedir. Cebirsel olarak yeniden oluşturulan bu model ile elde edilen eğriler ya tek asimptotlu ve polimorfik ya da çok asimptotlu ve anamorfik özellik göstermektedir (Ercanlı, 2010). Hem çok asimptotlu hem de polimorfik özellik gösteren denklemler de ilk olarak Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı adı altında geliştirilmişlerdir. Cebirsel Fark Yaklaşımında modelin tek bir parametresi cebirsel olarak yeniden düzenlenirken, Genelleştirilmiş Cebirsel Fark Yaklaşımı ile modelin en az iki parametresine cebirsel işlem uygulanmaktadır (Seki, 2015). Bu çalışmada önceki çalışmaların sonuçları da dikkate alınarak (Corral-Rivas vd. 2004, Diéguez-Aranda vd. 2005 ve 2006, Vargas-Larreta vd. 2013, Seki ve Sakıcı 2017, Kahrıman vd. 2018), doğal Toros göknarı meşcerelerinin dominant boy büyümesini modellemek amacıyla beş adet iyi bilinen büyüme fonksiyonu kullanılmıştır: Chapman-Richards modeli (Richards 1959, Chapman 1961), Bailey ve Clutter (1974) modeli, log-logistic model, ki bu model

Hossfeld modelinin benzeridir (Cieszewski 2000), Lundqvist-Korf modeli ve Hossfeld modelidir. Çizelge 3.6'da yukarıda belirtilen fonksiyonları temel alan 8 adet dinamik büyüme modeli verilmiştir. GADA metodu 2 parametresi yetiştirme ortamına özgü (modeller 1a, 2a, ve 3a) veya sadece bir parametresi yetiştirme ortamına özgü (modeller 1b, 2b, ve 3b) olarak düşünülerek uygulanmıştır. İkinci durumda GADA metodu ADA metoduna benzer olarak uygulanmıştır.

Temel-yaş değişmezlik metodu (Bailey ve Clutter 1974) kullanılarak, SAS/ETS® MODEL yöntemi (SAS Institute Inc. 2008) ile yukarıda belirtilen modellerin parametre tahmini yapılmıştır ve bu amaçla boş değişkenler yaklaşımı kullanılmıştır (Cieszewski vd. 2000). Bu metotta, boş değişkenler, belirli bir ağaç için başlangıç boyunun atanması ile yetiştirme ortamına özgü olarak modelin bireye özgü olmasını sağlamaktadır. Boş değişkenler metodunda, her ağaç için en az iki ölçüm gerekmektedir olup, ağaç sayısı ise modelde kullanılan global parametre sayısından daha fazla olmalıdır. Buna göre büyüme modelindeki Y_0 değişkeni, yetiştirme ortamına özgü bir parametre içeren terimlerin toplamıyla değiştirilerek her bir ağaç için boş değişken aşağıdaki formülle elde edilebilmektedir.

$$Y = (Y_{01}I_1 + Y_{02}I_2 + \dots + Y_{0n}I_n) \cdot \left(\frac{1 - \exp(-b_2 t)}{1 - \exp(-b_2 t_0)} \right)^{b_3} \quad (3.51)$$

Burada I_i boş değişken olup, i .inci ağaç için 1 diğer ağaçlar için 0 değerini almaktadır.

Ağaçlar arasındaki zamansal otokorelasyonun giderilebilmesi için, sürekli otoregresif hata yapısı (CAR(X)) kullanılmıştır. Bu hata yapısı düzensiz aralıklarla ölçülen dengelenmemiş veri yapısı için uygundur (Diéguez-Aranda vd., 2006).

Çalışma kapsamında geliştirilen modellerin performanslarının değerlendirilmesinde Belirtme Katsayısı (R^2), Ortalama Fark (MD) ve Mutlak Ortalama Fark (MAD) ölçüt değerleri kullanılmıştır. Model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan formüllerin açılımı bölüm 3.2.6'da verilmiştir.

Referans yaşın belirlenmesi

Standart yaştaki bonitet endeksi verilen herhangi bir yaş-boy çiftinden elde edilebilmektedir (Clutter vd. 1983). Bunun aksine bonitet endeksi herhangi bir yaştaki dominant boyu tahmin etmek için kullanılabilir (Bailey ve Clutter 1974). Bu nedenle uygun bir standart yaşın semimi önemlidir (Diéguez-Aranda vd. 2005).

Standart yaş aşağıda belirtilen düşünceler temel alınarak karşılaştırılabilir: i) standart yaş, temel silvikültürel müdahaleler için en küçük rotasyon yaşına eşit ya da bundan daha küçük olmalıdır; ii) standart yaş, herhangi bir yaştaki boyun güvenilir bir şekilde tahminine uygun seçilmelidir (Goelz ve Burk 1996). Diéguez-Aranda vd. (2005) standart yaş için silvikültürel müdahalelere kolayca karar verebilmeyi kolaylaştıracak mümkün olan en küçük yaşı seçilmesini önermiştir. Bu çalışmada, standart yaşı seçiminde, farklı standart yaşların performanslarını değerlendiren bir yaklaşım temel alınmıştır. Bu farklı standart yaşların ilgili yörede tür için genel rotasyon yaşından daha küçük olmasına dikkat edilmiştir. Değişik yaşlardaki hâkim ağaç boyu her ağaç için bu standart yaşlardaki gözlemlenen boylardan tahmin edilmiştir. Tahminlerdeki nispi hata yüzdesi (RE%) aşağıdaki formülasyon yardımı ile tahmine edilen ve ölçülen boylar yardımı ile hesaplanmıştır:

$$RE\% = 100 \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - p)}}{\bar{Y}} \quad (3.52)$$

Burada p modeldeki parametre sayısını ifade etmekte olup, diğer değişkenler ise daha önceki bölümlerde tanımlanmıştır.

Çizelge 3.6. Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan GADA modelleri ve türetildikleri temel büyüme modelleri

Temel büyüme modeli	Parametreler	Başlangıç katsayılarıyla X için çözüm (t_0, Y_0)	Dinamik Denklem	Model
Chapman-Richards: $Y = a_1[1 - \exp(-a_2t)]^{a_3}$	$a_1 = \exp(X)$ $a_3 = b_1 + b_2/X$	$X_0 = \frac{1}{2}[(\ln Y_0 - b_1 L_0) + \sqrt{(\ln Y_0 - b_1 L_0)^2 - 4b_2 L_0}]$ $L_0 = \ln[1 - \exp(-b_3 t_0)]$	$Y = \exp(X_0)[1 - \exp(-b_3 t)]^{(b_1 + b_2/X_0)}$	1a
	$a_2 = X$	$X_0 = \frac{-\ln\left(1 - \left(\frac{Y_0}{b_1}\right)^{\frac{1}{b_3}}\right)}{t_0}$	$Y = b_1[1 - \exp(-X_0 t)]^{b_3}$	1b
Log-logistic: $Y = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}}$	$a_1 = b_1 + X$ $a_2 = b_2 X$	$X_0 = \frac{Y_0 - b_1}{1 - b_2 Y_0 t_0^{-b_3}}$	$Y = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2 X_0 t^{-b_3}}$	2a
	$a_2 = X$	$X_0 = \left(\frac{b_1}{Y_0} - 1\right) t_0^{b_3}$	$Y = \frac{b_1}{1 + X_0 t^{-b_3}}$	2b
Bailey-Clutter: $Y = \exp(a_1 + a_2 t^{a_3})$	$a_1 = b_1 + X$ $a_2 = b_2 X$	$X_0 = \frac{\ln(Y_0) - b_1}{1 + b_2 t_0^{a_3}}$	$Y = \exp(b_1 + X_0 + b_2 X_0 t^{b_3})$	3a
	$a_2 = X$	$X_0 = [\ln(Y_0) - b_1] t_0^{-b_3}$	$Y = \exp(b_1 + X_0 t^{b_3})$	3b

Çizelge 3. 6 Yetiştirme ortamı verim gücünün belirlenmesinde kullanılan GADA modelleri ve türetildikleri temel büyüme modelleri (Devam)

<p>Lundqvist-Korf: $Y = a_1 \exp(-a_2 t^{-a_3})$</p>	<p>$a_1 = \exp(X)$ $a_2 = b_2/X$</p>	<p>$X_0 = \frac{1}{2} \left(\ln Y_0 \pm \sqrt{(-\ln Y_0)^2 + 4b_2 t_0^{-b_3}} \right)$</p>	<p>$Y = \exp(X_0) \exp(-(b_2/X_0)t^{-b_3})$ 4</p>
<p>Hossfeld: $Y = \frac{t^{a_3}}{a_2 + a_1 t^{-a_3}}$</p>	<p>$a_1 = X a_3 = b_2/X$</p>	<p>$X_0 = h_0 b_1 + \sqrt{(h_0 b_1)^2 + 2h_0 \frac{b_2}{t_0 b_3}}$</p>	<p>$Y = h_0 \frac{t^{b_3} (t_0^{b_3} X_0 + b_2)}{t_0^{b_3} (t^{b_3} X_0 + b_2)}$ 5</p>

3.2.6. İstatistiksel değerlendirme kriterleri

Çalışma kapsamında geliştirilen gövde çapı, çap dağılımı, çap-boy ve bonitet endeks modellerinin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin matematiksel ifadeleri aşağıda görülmektedir.

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right] \quad (3.53)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \quad (3.54)$$

$$AIC = n \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y}_i)^2}{n} \right] + 2p \quad (3.55)$$

$$BIC = n \log \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / n \right) + p \log n \quad (3.56)$$

$$R_i = 1 + \frac{(m - 1)(S_i - S_{min})}{S_{max} - S_{min}} \quad (3.57)$$

$$-2LL = -2 \ln(L) \quad (3.58)$$

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3.59)$$

$$\% \bar{e} = 100 \times \frac{\bar{e}}{\bar{y}} \quad (3.60)$$

$$MSE = \bar{e}_i^2 + s^2 \quad (3.61)$$

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - \hat{h}_{ij})}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (3.62)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} |h_{ij} - \hat{h}_{ij}|}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (3.63)$$

$$FI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - \hat{h}_{ij})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} (h_{ij} - \bar{h}_i)^2} \quad (3.64)$$

$$EI = \sum_{j=1}^M |G_j - \hat{G}_j| = \sum_{j=1}^M \left| \int_{c_i} \frac{\pi x^2}{4} (\hat{f}(x) - f_{emp}(x)) dx \right| \quad (3.65)$$

Burada,

y_i : Ölçülen değer,

\hat{y}_i : Tahmin edilen değer,

\bar{y} : Ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması,

n : Toplam gözlem sayısı,

p : Parametre sayısı,

L : Maksimum likelihood fonksiyonu,

λ : Efektif parametre sayısı,

\bar{e} : ortalama tahmin hatası,

$\% \bar{e}$: Ortalama değerlerin yüzdesi,

s^2 : Tahmin hatasının varyansı,

M : Çap sınıflarının sayısı,

n_i : i plottaki ölçüm sayısı,

h_{ij} ve \hat{h}_{ij} : Sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen değerleri,

\bar{h}_i : h_{ij} 'nin ortalama değerini ifade etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

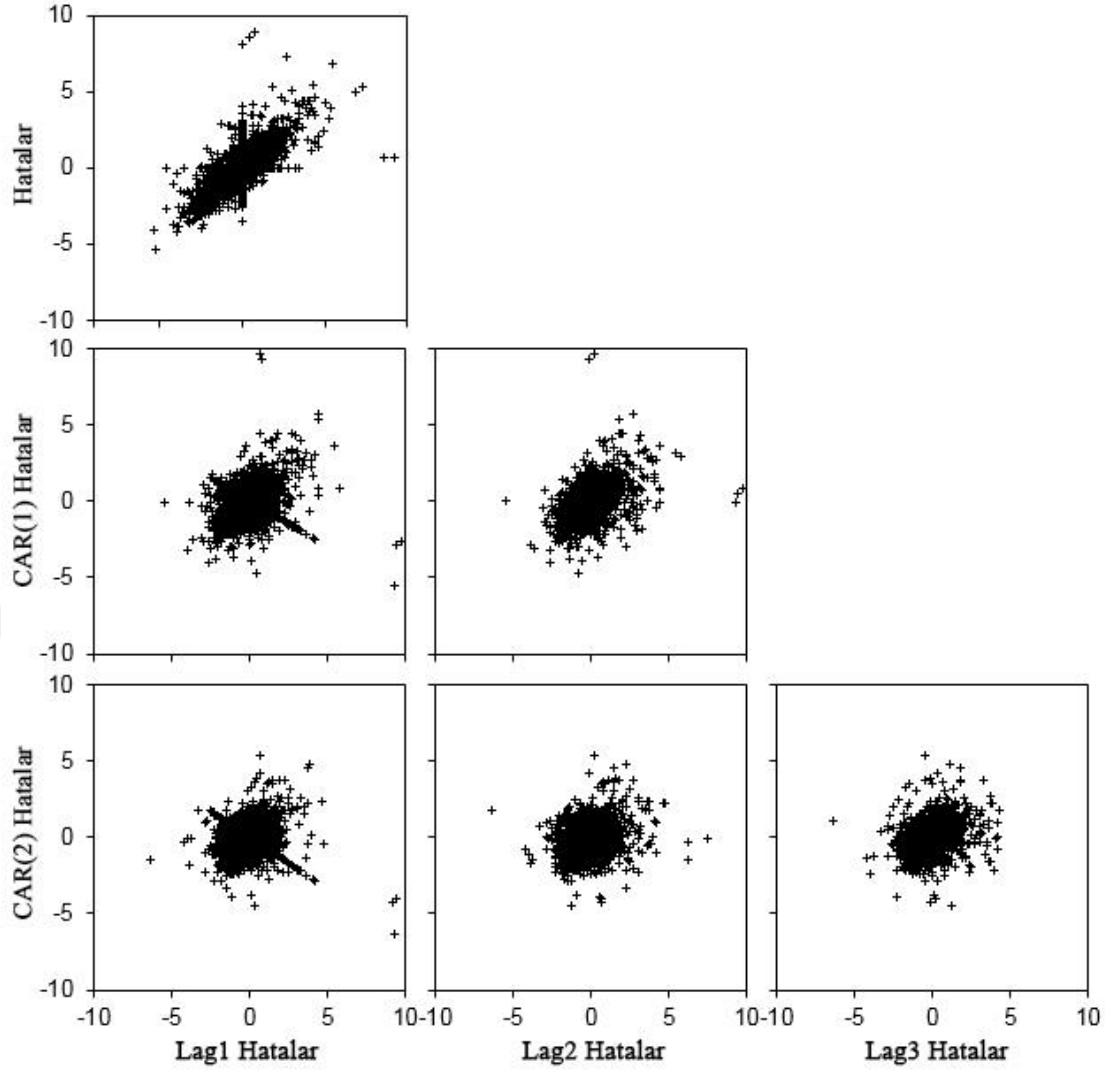
4.1. Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular

4.1.1. Çoklu bağıntı, otokorelasyon ve değişen varyansa ilişkin bulgular

Regresyon analizi yöntemi kullanılarak gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde en çok karşılaşılan problemlerin çoklu bağıntı ve otokorelasyon olduğu daha önceki bölümlerde ifade edilmişti. Bu nedenle, gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde otokorelasyon probleminin kaçınılmaz ve çoklu bağıntı problemini azaltabilmek için uygun istatistiksel yaklaşımların seçilmesi gerektiği belirtilmiştir (LeMay vd., 1993; Kozak, 1997). Geliştirilen modellerdeki değişkenler arasında olası çoklu bağıntı probleminin tespiti için Koşul Sayısı (CN), otokorelasyon problemini ortadan kaldırmak amacıyla farklı otoregresif hata yapıları (CAR(X)) kullanılmıştır.

Bu çalışmada otokorelasyon probleminin çözümü için sırasıyla birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapıları kullanılmıştır. Bu otoregresif hata yapılarının kullanılması sonucu otokorelasyon probleminin ortadan kaldırılıp kaldırılmadığına ilişkin bir örnek Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen model kullanılarak aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.1'ün ilk satırı incelendiğinde, otokorelasyon içi otoregresif hata yapısının modele eklenmiş olduğu durumda, veriler arasındaki otokorelasyon (ilişkili hata yapısı) probleminin varlığı açıkça görülmektedir. Şeklin ikinci satırında ise birinci derece otoregresif hata yapısının (CAR(1)) modele eklenmesi ile otokorelasyon probleminin kısmen ortadan kaldırılabilirdi ancak tam olarak ortadan kaldırılmadığı, üçüncü satırda ise ikinci derece otoregresif hata yapısı kullanılarak (CAR(2)) otokorelasyon probleminin hemen hemen ortadan kaldırıldığı gözükmektedir.



Şekil 4.1. Çap tahmininde ortaya çıkan artıklar için, Clark vd., (1991) modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı varsayılarak yapılan test (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)

Ancak burada tekrar belirtmek gerekirse, model yapısında var olan otokorelasyonun düzeltilmesindeki temel amaç, modelin istatistiksel özelliklerinin (model katsayılarının yüksek standart hataya sahip olmasını önlemek) düzeltilmesi olup, bu hata yapısı pratik ormancılık uygulamalarında gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde kullanılmamaktadır (Dieguez-Aranda vd., 2006; Özçelik ve Crecente Campo, 2016).

4.1.2. Geliştirilen gövde çapı modellerine ilişkin bulgular

Toros göknarı ağaç türü için geliştirilen gövde çapı modellerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda, çalışma kapsamında test edilen modellerin parametreleri ve bunlara ilişki standart hata değerleri aşağıda Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bi (2000) modeli hariç çalışmada test edilen tüm modellerin parametrelerinin $p < 0.05$ düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür. Test edilen üç farklı gruba ait (basit, parçalı ve değişken şekil) gövde çapı modellerinin çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerine ilişkin ölçüt değerleri ve koşul sayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Modellerin koşul katsayıları incelendiğinde, Cervera (1973) ve Muhairwe (1999) dışındaki modellerin çoklu bağıntı problemine sahip olmadığı ancak bu iki modelinde orta dereceli bir çoklu bağıntı problemine sahip olduğu ifade edilebilir. Aynı gövde çapı modelleri için ülkemizde Özçelik vd. (2016) tarafından karaçam ve kızılçam ağaç türleri için, Özçelik ve Crecente Campo (2016) tarafından sedir, yurt dışında ise Dieguez-Aranda vd. (2006) tarafından İspanya’da sarıçam plantasyonlarında ve Corral-Rivas vd. (2007) tarafından Meksika’da bazı ağaç türleri için yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur.

Yine Çizelge 4.2 incelendiğinde gövde çapı tahminleri için modellerin belirtme katsayıları ve hata kareler ortalamasının karekökü değerlerinin sırasıyla 0.9922-0.9952 ve 0.9301-1.1922 değerleri arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlara göre tüm modellerin gövde çapı tahminlerinde oldukça başarılı olduğu ve gövde çapı tahminlerindeki toplam varyasyonun neredeyse tamamının gövde çapı modelleri yardımı ile açıklanabildiği görülmüştür. Benzer sonuçların boy tahminleri içinde geçerli olduğu söylenebilir. Gövde çapı modelleri geliştirilirken, test edilen modeller için herhangi bir ticari çap değerinin bulunduğu boyun da tahmini yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Geliştirilen modeller için parametre tahminleri ve bu tahminlere ilişkin standart hata değerleri

Parametre	Model											
	Cervera (1973)	Max ve Burkhart (1976)	Biging (1984)	Kozak (1988)	Clark vd. (1991)	Riemer vd. (1995)	Muhairwe (1999)	Fang vd. (2000)	Bi (2000)	Lee vd. (2003)	Kozak (2004)	Sharma ve Zhang (2004)
a_0				1.039313 (0.0529)				0,000078 ($2,14 \times 10^{-6}$)			1.19613 (0.0213)	0.990139 (0.0039)
a_1		0.693506 (0.0296)		1.000827 (0.0186)				1,645645 (0,0134)			0.851687 (0.0071)	2.081417 (0.0025)
a_2		0.130927 (0.0071)		0.996751 (0.0004)				1,150387 (0,0173)			0.130736 (0.0096)	-0.04658 (0.0235)
a_3												0.525574 (0.0289)
b_0					0.488627 (0.0020)							
b_1	0.044298 (0.0037)	-2.613700 (0.0919)	1,214047 (0,0023)	-0.347360 (0.0350)	0.304988 (0.0134)	1.095586 (0.1058)	113.4569 (20.4075)	$4,882 \times 10^{-6}$ ($4,65 \times 10^{-7}$)	0.211655 (0.0432)	1.762879 (0.0253)	0.290597 (0.0112)	
b_2	1.099014 (0.0454)	1.225989 (0.0514)	0,460312 (0,0031)	-0.051990 (0.0057)	14446.81 (2008)	0.033466 (0.0013)	0.932339 (0.0045)	0,000023 ($5,98 \times 10^{-7}$)	0.043174 (0.0221)	0.87647 (0.0038)	-0.30977 (0.0504)	
b_3	0.350340 (0.1667)	-0.645410 (0.0597)		1.250920 (0.1785)	68.33265 (4.6598)		-3.643770 (0.4449)	0,000030 ($8,44 \times 10^{-8}$)	-0.00108 (0.0051)	0.655755 (0.0566)	0.685202 (0.0085)	
b_4	-1.267550 (0.2241)	9.755195 (0.9774)		0.103697 (0.0277)	1.891295 (0.1753)		2.304963 (0.8284)		-0.03505 (0.0263)	-1.04569 (0.0706)	-1.00548 (0.3291)	
b_5	0.788366 (0.0987)			0.062315 (0.0056)	2.103589 (0.0594)		8.738586 (0.3510)		0.00019 (0.0001)	1.23898 (0.0223)	0.005753 (0.0027)	
b_6					0.864986 (0.0076)		1.976949 (0.4960)		0.050553 (0.0040)		-0.29124 (0.0199)	
b_7							0.011069 (0.0007)		-0.04572 (0.0049)			
b_8							0.125906 (0.0231)					
p_1								0,01745 (0,0006)				
p_2								0,091028 (0,0049)				

* $\alpha = 0.05$ önem düzeyinde önemsiz

Test edilen gövde çapı modellerinden Max ve Burkhart (1976), Biging (1984), Clark vd., (1991) ve Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilen modeller, ticari hacim tahminlerindeki varyansın yaklaşık olarak %97'sini açıklayabilirken; Cervera (1973) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modeller varyansın yaklaşık olarak %98'ini ve kalan modeller ise %99'dan fazlasını açıklayabilmektedir. Modellerin toplam hacim tahminlerindeki değerleri incelendiğinde ise Max ve Burkhart (1976), Biging (1984) ve Riemer vd. (1995) tarafından geliştirilen modeller, toplam varyansın %96'sını; Cervera (1973) ve Sharma ve Zhang (2004) tarafından geliştirilen modeller %97'sini; Bi (2000) ve Lee vd., (2003) tarafından geliştirilen modeller %98'ini; Kozak (1988), Clark vd., (1991), Muhairwe (1999), Fang vd. (2000) ve Kozak (2004) tarafından geliştirilen modeller ise %99'unu açıklayabilmektedir. Genel olarak tüm sonuçlar incelendiğinde Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen modelin; gövde çapı, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerinde varyansın %99'undan fazlasını açıklayabildiği ve çalışmada kullanılan modeller arasındaki en başarılı model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Daha önce de bahsedildiği gibi, modeller arasında sıralama yapmanın yanı sıra, modellerin birbirine göre nispi başarılarını da görebilmek adına nispi sıralama yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, model değerlendirme kriterleri kullanılarak, geliştirilen her modelin, çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminlerindeki başarıları ayrı ayrı nispi olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her bir modelin çap, boy, ticari ve toplam hacim tahminlerindeki nispi başarı sıralarından faydalanılarak genel bir nispi sıra değeri elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Bu sayede her bir modelin genel olarak başarılarının karşılaştırılabilme imkânı sağlanmıştır. Bununla beraber çalışma kapsamında değerlendirilen en başarılı ve en başarısız 3 modelin radar grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.2).

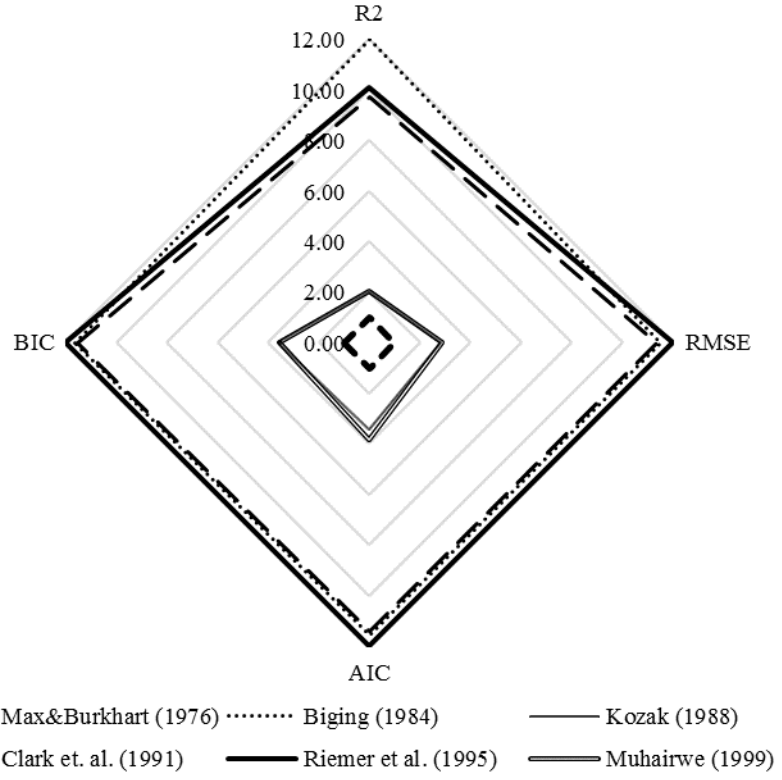
Çizelge 4.2. Geliştirilen modeller için ölçüt değerlerinin uyum istatistikleri ve koşul sayıları

Parametre	Model												
	Cervera (1973)	Max ve Burkhart (1976)	Biging (1984)	Kozak (1988)	Clark vd. (1991)	Riemer vd. (1995)	Muhairwe (1999)	Fang vd. (2000)	Bi (2000)	Lee vd. (2003)	Kozak (2004)	Sharma ve Zhang (2004)	
Çap	R ²	0.9932	0.9928	0.9923	0.9948	0.9952	0.9922	0.9948	0.9947	0.9946	0.9940	0.9949	0.9938
	RMSE	1.1198	1.1426	1.1812	0.972	0.9301	1.1922	0.9721	0.9815	0.9955	1.0413	0.9681	1.0591
	AIC	794	1005	1245	-200	-501	1318.3	-201	-129	-23	312	-229	436
	BIC	836	1053	1271	-140	-483	1347	-153	-82	-31	360	-162	472
Boy	R ²	0.9930	0.9917	0.9404	0.9964	0.9973	0.9907	0.9962	0.9956	0.9961	0.9951	0.996	0.9943
	RMSE	0.4815	0.5241	0.5643	0.3435	0.3006	0.554	0.3552	0.3829	0.3593	0.4043	0.3653	0.4351
	AIC	-5443	-4809	-4262	-7952	-8957	-4395	-7711	-7152	-7626	-6747	-7500	-6200
	BIC	-5402	-4762	-4239	-7892	-8909	-4366	-7663	-7104	-7572	-6705	-7434	-6164
Ticari Hacim	R ²	0.9812	0.9748	0.9793	0.9947	0.9970	0.9760	0.9949	0.9943	0.9918	0.9933	0.9947	0.9853
	RMSE	0.0975	0.1131	0.1026	0.0521	0.039	0.1105	0.0508	0.0538	0.0647	0.0584	0.0519	0.0865
	AIC	-17355	-16254	-16977	-22022	-24196	-16424	-21224	-21792	-20405	-21185	-22050	-18253
	BIC	-17313	-16201	-16954	-21962	-24148	-16395	-22177	-21744	-20355	-21143	-21993	-18218
Toplam Hacim	R ²	0.9729	0.9657	0.9688	0.9915	0.9941	0.9667	0.9915	0.9907	0.9878	0.9883	0.9914	0.9771
	RMSE	0.1246	0.1405	0.1327	0.0703	0.0581	0.1375	0.0699	0.0729	0.0839	0.081	0.0706	0.1142
	AIC	-1007	-948	-990	-1284	-1379	-961	-1288	-1268	-1198	-1218	-1283	-1051
	BIC	-985	-922	-968	-1251	-1353	-946	-1262	-1242	-1169	-1195	-1253	-1032
CN	453	106	3	173	12	11	612	70	162	43	79	12	

*Sayısal çözümler iterasyon yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. CN: Koşul Sayısı

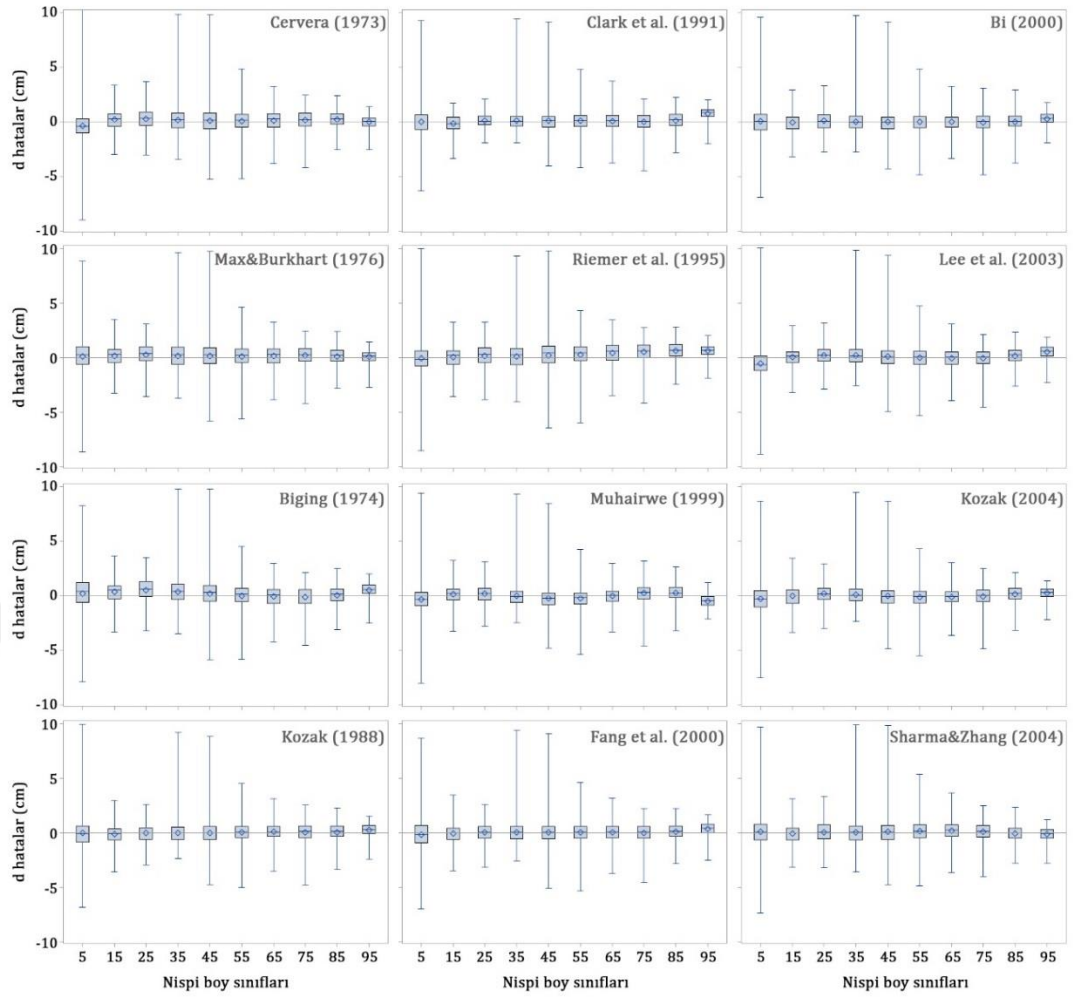
Çizelge 4.3. Geliştirilen modellerin ölçüt değerleri kullanılarak elde edilen nispi sıralama değerleri

Parametre	Model												
	<i>Cervera (1973)</i>	<i>Max ve Burkhart (1976)</i>	<i>Biging (1984)</i>	<i>Kozak (1988)</i>	<i>Clark vd. (1991)</i>	<i>Riemer vd. (1995)</i>	<i>Muhairwe (1999)</i>	<i>Fang vd. (2000)</i>	<i>Bi (2000)</i>	<i>Lee vd. (2003)</i>	<i>Kozak (2004)</i>	<i>Sharma ve Zhang (2004)</i>	
Çap	R ²	8.33	9.80	11.63	2.47	1.00	12.00	2.47	2.83	3.20	5.40	2.10	6.13
	RMSE	8.96	9.92	11.54	2.76	1.00	12.00	2.76	3.16	3.74	5.67	2.59	6.41
	AIC	8.83	10.11	11.56	2.82	1.00	12.00	2.81	3.25	3.89	5.92	2.64	6.67
	BIC	8.93	10.23	11.54	3.06	1.00	12.00	2.98	3.41	3.72	6.07	2.93	6.74
Boy	R ²	1.83	2.08	12.00	1.17	1.00	2.28	1.21	1.33	1.23	1.43	1.25	1.58
	RMSE	8.55	10.32	12.00	2.79	1.00	11.57	3.28	4.43	3.45	5.33	3.70	6.61
	AIC	9.23	10.72	12.00	3.35	1.00	11.69	3.92	5.23	4.12	6.18	4.41	7.46
	BIC	9.26	10.77	12.00	3.40	1.00	11.70	3.93	5.25	4.15	6.19	4.47	7.47
Ticari Hacim	R ²	8.83	12.00	9.77	2.14	1.00	11.41	2.04	2.34	3.58	2.83	2.14	6.80
	RMSE	9.68	12.00	10.44	2.94	1.00	11.61	2.75	3.20	4.82	3.88	2.91	8.05
	AIC	10.48	12.00	11.00	4.01	1.00	11.76	5.12	4.33	6.25	5.17	3.97	9.23
	BIC	10.46	12.00	10.96	4.03	1.00	11.73	3.73	4.33	6.25	5.16	3.98	9.21
Toplam Hacim	R ²	9.21	12.00	10.80	2.01	1.00	11.61	2.01	2.32	3.44	3.25	2.05	7.58
	RMSE	9.88	12.00	10.96	2.63	1.00	11.60	2.58	2.98	4.44	4.06	2.67	8.49
	AIC	10.49	12.00	10.93	3.42	1.00	11.67	3.32	3.83	5.62	5.11	3.45	9.37
	BIC	10.39	12.00	10.83	3.60	1.00	11.39	3.32	3.83	5.70	5.03	3.55	9.19
TOPLAM		35.84	42.49	44.99	11.65	4.00	44.50	12.06	14.01	16.90	19.16	12.21	29.25
NİSPİ SIRA		9.54	11.33	12.00	3.05	1.00	11.87	3.16	3.69	4.46	5.07	3.20	7.78

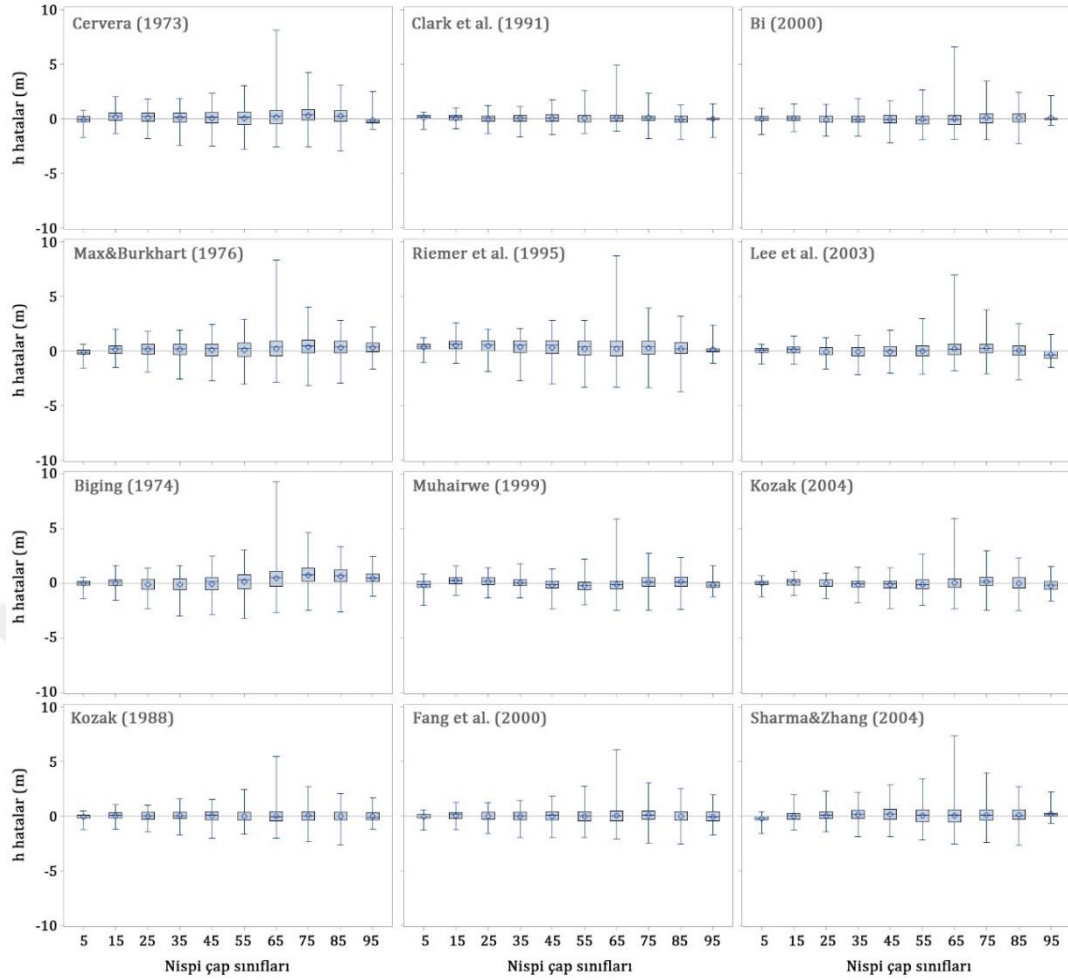


Şekil 4.2. Gövde çapı tahminindeki en başarılı ve en başarısız üç model

Yine çalışmada kullanılan modellerin sırasıyla nispi boy sınıflarına, nispi çap sınıflarına ve çap sınıflarına dağılımlarına ilişkin grafiklerde Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekillerdeki kare işareti, çap sınıfına ilişkin tahmin hatalarının ortalamasını, kutular hataların yayılma alanını, yukarı ve aşağı uzanan dikey çizgiler ise, maksimum ve minimum çap ve hacim tahmin hatalarını temsil etmektedir.

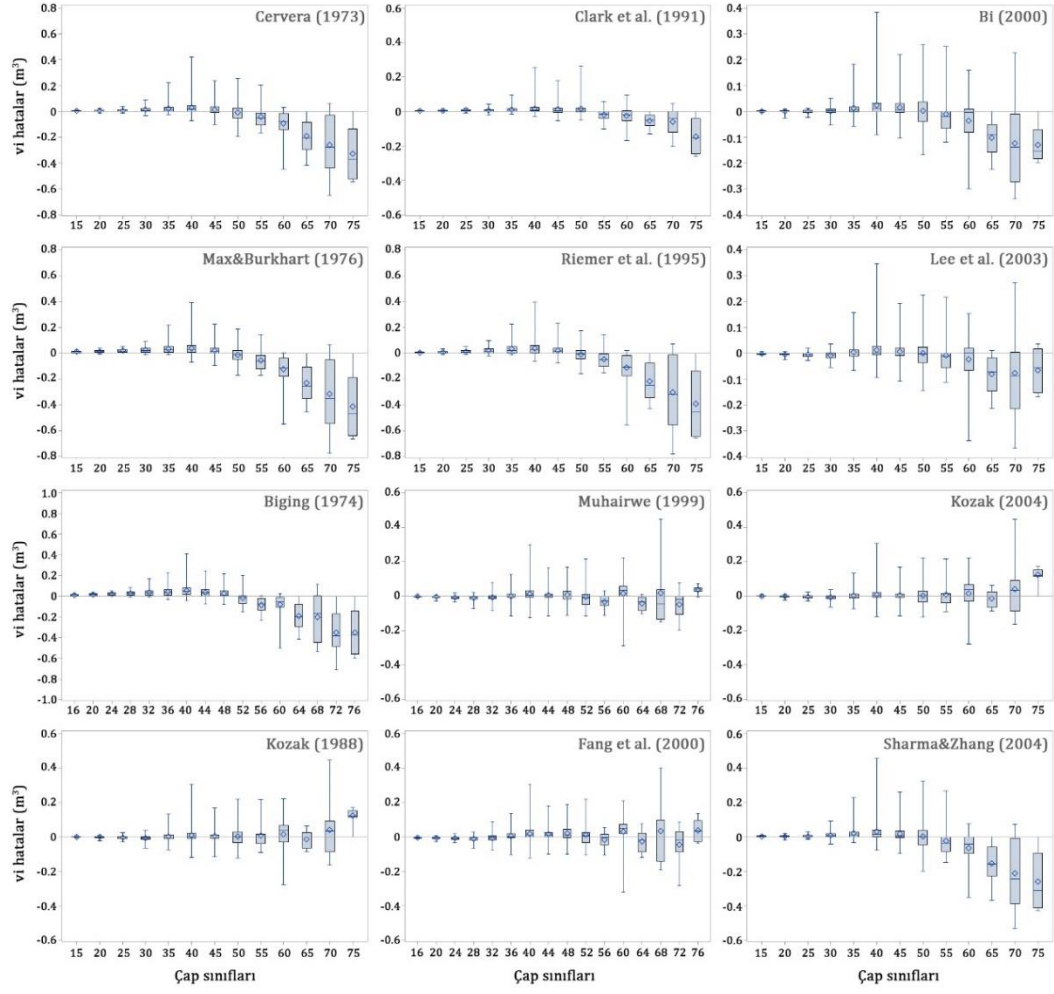


Şekil 4.3. Toros göknarı için gövde çapı tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği

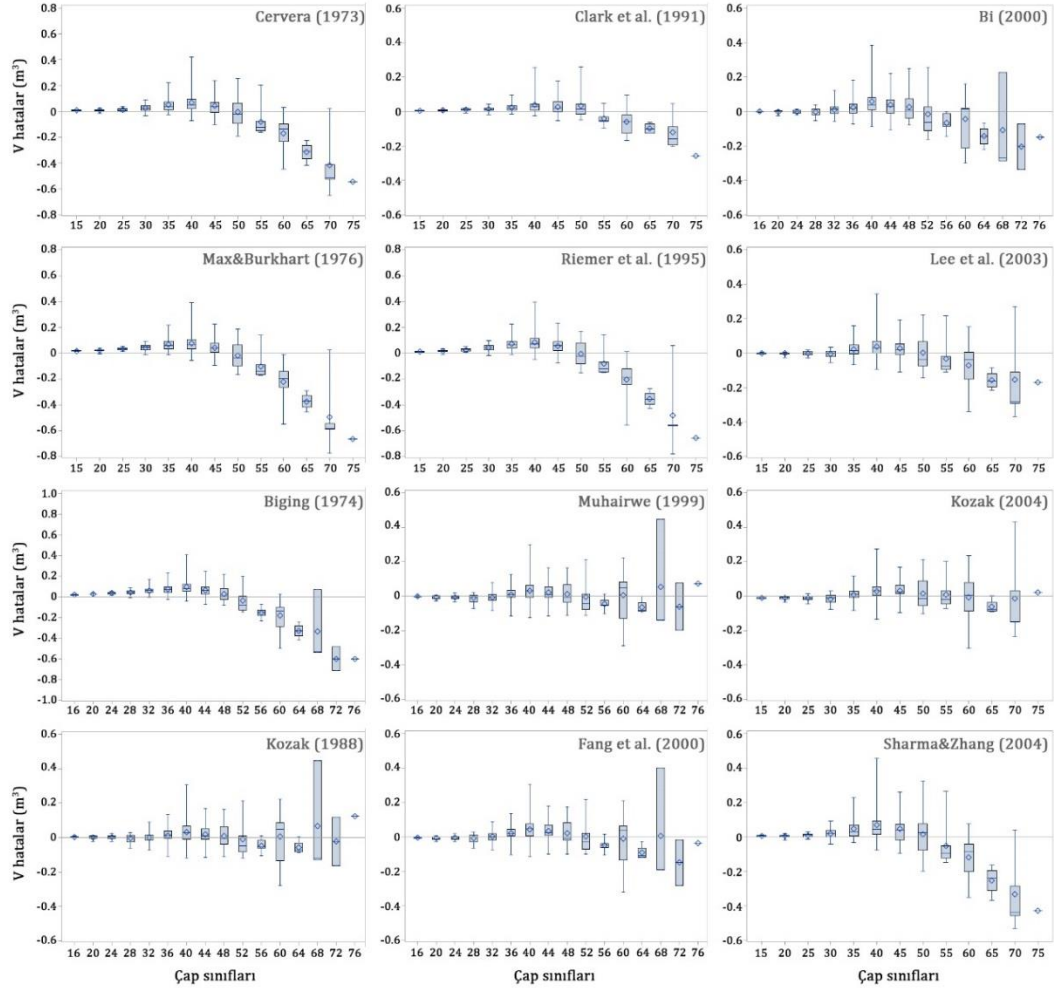


Şekil 4.4. Toros göknarı için boy tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te Clark vd. (1991) tarafında geliştirilen modelin diğer modellere göre çap ve boy tahminlerinde tüm nispi boy ve nispi boy sınıfları için daha düşük hata değerleri üretmiştir. Tüm modeller %35-45'lik nispi boy sınıfları için daha yüksek hata değerleri ürettiği gözlenmiştir. Nispi çap sınıfları için ise modellerin %65'lik çap sınıfı için nispeten daha yüksek hata ürettikleri görülmektedir.



Şekil 4.5. Toros göknarı için ticari hacim tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği



Şekil 4.6. Toros göknarı için toplam hacim tahminlerinde ortaya çıkan artıkların nispi çap sınıflarına dağılım grafiği

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da modellerin çap sınıfları için üretmiş oldukları hatalar incelendiğinde, Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen modelin diğer modellere göre daha düşük hata değerleri ürettiği görülmektedir. Tüm modeller genel olarak 55 cm’den daha yüksek çap sınıfları için diğer çap sınıflarına göre daha yüksek hatalar üretmiştir. Bu durum ilgili çap sınıflarında ölçülen ağaç sayılarının diğer çap sınıflarına göre nispeten düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle ilgili modellerin gövde çapı tahminleri amacıyla doğal Toros göknarı meşcerelerinde kullanımı sırasında 55 cm ve daha yüksek çap değeri kullanımı için dikkatli olunması yararlı olacaktır.

4.2. Karışık Etkili Yaklaşım ile Gövde Çapı Modellerine İlişkin Bulgular

4.2.1. Karışık-etkili parçalı gövde çapı modeli

Bu çalışmada Max ve Burkhart (1976) tarafından geliştirilen gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu modelin seçiminde, iki neden öne çıkmıştır. Bunlardan birincisi, Max ve Burkhart (1976) gövde çapı modelinin bu tür çalışmalarda çok yaygın olarak kullanılıyor olması; ikincisi de pek çok ağaç türü için gövde çapı tahminlerinde başarılı sonuçlar vermesi ve daha önceki yapılan çalışmalarla karşılaştırma yapma imkânı sağlıyor olmasıdır. Çalışmada, ilgili model doğal Toros göknarı meşcereleri için gövde çapı modelinin geliştirilmesi amacıyla önce sabit etkili olarak, daha sonra ise farklı kombinasyonlarla tesadüfi etkili olarak uygulanmıştır. Max ve Burkhart (1976) modeli altı parametrelidir, önceki çalışmaların sonuçları da dikkate alınarak bir ve iki parametresi tesadüfi etkili parametre kombinasyonları dikkate alınarak yürütülmüştür. Bu kapsamda bir ve iki parametresi tesadüfi etkili olmak üzere toplam 21 adet farklı karışık etkili model kombinasyonu test edilmekle beraber, bu kombinasyonlardan yalnızca 10 tanesi %5 düzeyinde anlamlı sonuçlar vermiştir. Geri kalan 11 adet farklı kombinasyon ise %5 düzeyinde anlam ifade etmemiştir. Buna karşın, söz konusu 11 parametre modelden uzaklaştırılıp yeniden çözüldüğünde ise elde edilen sonuçların kalan 10 parametreden daha kötü sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Söz konusu bir ya da iki parametresi tesadüfi etkili 10 kombinasyona ilişkin AIC, BIC ve -2LL ölçüt değerleri Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Çizelge 4.4'te de görüleceği gibi, ölçüt değerleri (her üç ölçüt için de en küçük değere sahip olan en iyidir) bakımından en başarılı kombinasyonun β_1 ve β_3 kombinasyonu ile elde edildiği görülmektedir. İlgili ölçüt değerleri incelendiğinde, bütün parametreleri sabit etkili olan modelin en yüksek AIC, BIC ve -2LL değerlerine sahip olduğu ve dolayısıyla en başarısız kombinasyona sahip olduğu söylenebilir. Genel olarak elde edilen sonuçlar incelendiğinde iki parametresi tesadüfi etkili kombinasyonların bir parametresi tesadüfi etkili kombinasyonlara göre daha başarılı olduğu da görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da (Garcia-Gomez vd. 2016; Arias-Rodil vd. 2015; Garcia-Gomez vd. 2016) benzer durumların ortaya çıktığı ifade edilmiştir.

Çizelge 4.4. Max ve Burkhart (1976)'ın parçalı gövde çapı modelinin farklı tesadüfi değişken kombinasyonları için bazı ölçütlere ilişkin sonuçlar.

Tesadüfi Değişkenler	AIC	BIC	-2LL
$\beta_1 \beta_3$	9157.278	9135.278	6339.443
$\beta_2 \beta_3$	9189.755	9167.755	6351.839
β_2	9191.262	9173.262	6358.614
$\beta_1 \beta_2$	9194.186	9172.186	6358.624
$\beta_2 \beta_4$	9195.266	9173.266	6355.931
β_1	9223.338	9205.338	6361.570
β_4	9309.444	9291.444	6361.571
β_3	9309.444	9291.444	6361.678
$\beta_4 \alpha_1$	9313.444	9291.444	6357.954
$\beta_3 \alpha_2$	9313.444	9291.444	6358.677
OLS	11603.865	11648.117	8293.932

-2LL, iki kez negatif logaritmik olabilirlik fonksiyonunu ve AIC, Akaike'nin bilgi kriterini ve BIC, Bayesian bilgi kriterini ifade etmektedir.

Çalışmada, ağaç ve ağaç grupları için model parametrelerin değişkenlikleri de analiz edilmiştir. Bu amaçla onar ağaçlık gruplar oluşturulmuş ve ortaya çıkan değişkenlik oranları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde en yüksek değişkenlik gösterenler (CV%) parametrelerin, %53, %92 ve %26' ile α_1 , β_3 ve β_4 parametreleri olarak belirlenmiştir. Ancak bu sonuçlar Çizelge 4.6'da elde edilen sonuçlarla uyumlu değildir. Çünkü burada α_1 ve β_3 ile α_1 ve β_4 en başarılı karışık etkili model kombinasyonları içinde yoktur.

Çizelge 4.5. 10'lu ağaç gruplarının doğrusal olmayan regresyon modelinin parametreleri için varyasyon katsayıları (%)

Parametreler	CV (%)
α_1	53
α_2	10
β_1	19
β_2	21
β_3	92
β_4	26

CV: Varyasyon katsayısı

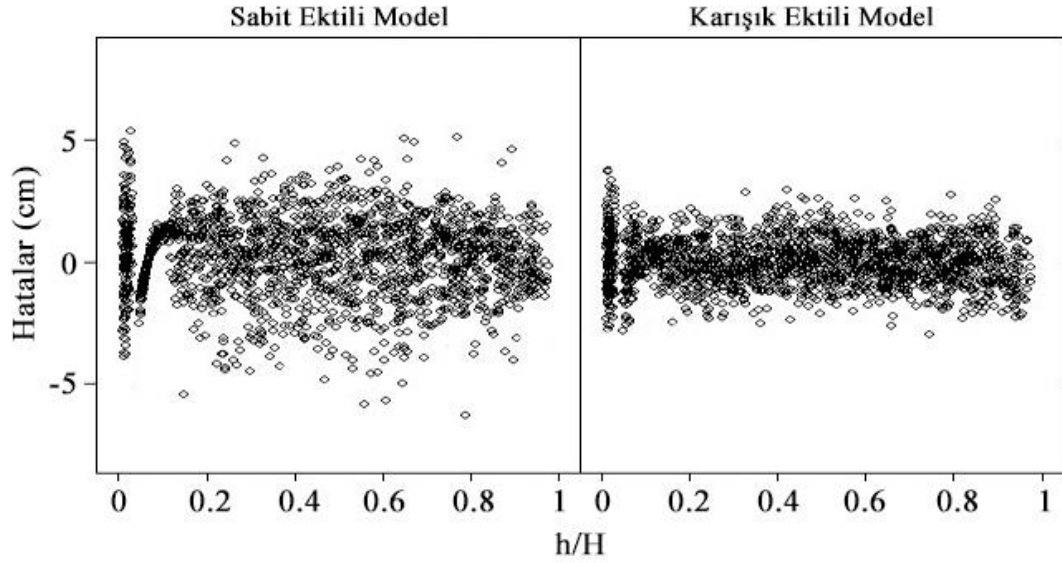
Çizelge 4.6'da ise doğal Toros göknarı meşcereleri için en uygun sabit etkili ve tesadüfi etkili parametre kombinasyonu kullanılarak geliştirilen modellerin parametre tahminleri ve bunlara ilişkin standart hata değerleri verilmiştir. Tüm parametreler <.0001 düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.6. Max ve Burkhart (1976)'ın sabit ve karışık etkili değişken şekil gövde çapı modelleri için parametre tahminleri.

	OLS	Mixed
β_1	-3.3477 (0.1264)	-3.3022 (0.0979)
β_2	1.6357 (0.0705)	1.6023 (0.0546)
β_3	26.0169 (4.4455)	30.2742 (2.7056)
β_4	-1.4523 (0.0777)	-1.3550 (0.0768)
α_1	0.1146 (0.0090)	0.1053 (0.0046)
α_2	0.6827 (0.0205)	0.6861 (0.0155)

4.2.2. Hata varyansı ve otokorelasyon için elde edilen sonuçlar

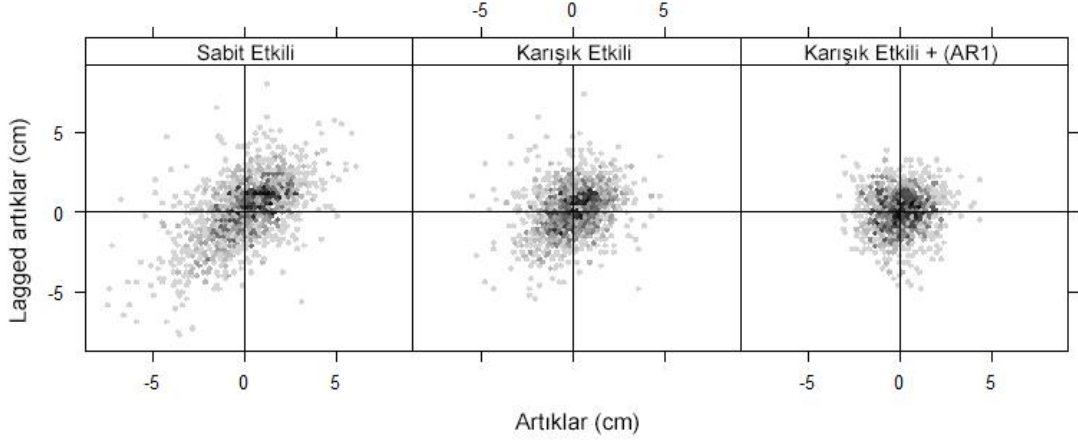
Gövde çapı modellerinin geleneksel regresyon yöntemi (doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi) ile geliştirilmesi sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden ikisi otokorelasyon ve çoklu bağıntı problemidir. Karışık etkili doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi bu problemlerin ortadan kaldırılması amacıyla en çok başvurulan yöntemlerdendir. Bu çalışmada değerlendirilen sabit etkili ve tesadüfi etkili modellere ilişkin hata analizleri göstermiştir ki, tesadüfi etkili parametrelere sahip karışık-etkili modeller, sabit etkili modellere kıyasla daha homojen bir hata varyansı yapısına sahiptir. Sabit etkili modele ilişkin hata dağılımı homojen bir yapı göstermemektedir. Ancak karışık etkili modele ilişkin hata dağılımı tüm nispi boy sınıfları için neredeyse homojen bir yapı göstermektedir. Bu durum Şekil 4.7'de de açık bir şekilde görülebilmektedir.



Şekil 4.7. Nispi boylar itibariyle sabit etkili ve karışık etkili modeller için hatalar varyansı

Ancak, Şekil 4.8 incelenecek olursa, gövde çapı tahminleri için model çözümünde karışık etkili modelin kullanımı otokorelasyon problemini tam olarak ortadan kaldıramamıştır. Buna benzer bulgular değişik araştırmacılar tarafında da ortaya konmuştur (Trincado ve Burkhart 2006; Yang vd. 2009). Karışık etkili modele birinci derece otoregresif hata yapısı (AR(1))'in eklenmesi ile otokorelasyon problemi hemen hemen ortadan kalkmıştır. Bu durum Şekil 4.9'da en sağdaki şekilde görülebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Trincado ve Burkhart (2006), Gomez-Garcia vd. (2013), Arias-Rodil vd. (2015) ve Gomez-Garcia vd. (2016) tarafından bulunan sonuçlarla uyumludur. Benzer konuda başka araştırmacılar (Garber ve Maguire, 2003; Trincado ve Burkhart 2006; Yang vd., 2009b; Li ve Weiskittle, 2010; Özçelik vd., 2011; Gomez-Garcia vd. 2013; Gomez-Garcia vd. 2016) tarafından yapılan çalışmalarda otokorelasyon probleminin tamamen ya da kısmen ortadan kaldırılabilmesi için modele otoregresif hata yapısı bileşeninin eklenmesi önerilmektedir. Ancak yapılan bazı çalışmalar (Sharma ve Parton 2009; Lejeune vd., 2009), otokorelasyon sorununun karışık etkili modelleme yaklaşımı ile de kaldırılabilceğini göstermiştir. West (1984), otokorelasyonun hesaplanmasının, modelin tahmin performansında herhangi olumlu bir etkiye sahip olmadığını ancak uygun istatistiksel yaklaşımlarla parametrelerin kovaryans matrisindeki hataları önleyebildiğini belirtmiştir.

Öte yandan Yang vd. (2009a) ve Gomez-Garcia vd. (2013) otokorelasyon parametrelerinin aynı ağaç gövdesi üzerindeki birkaç farklı çap değeri kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılmadığı sürece, uygulamada da kullanılmadığını belirtmişlerdir.

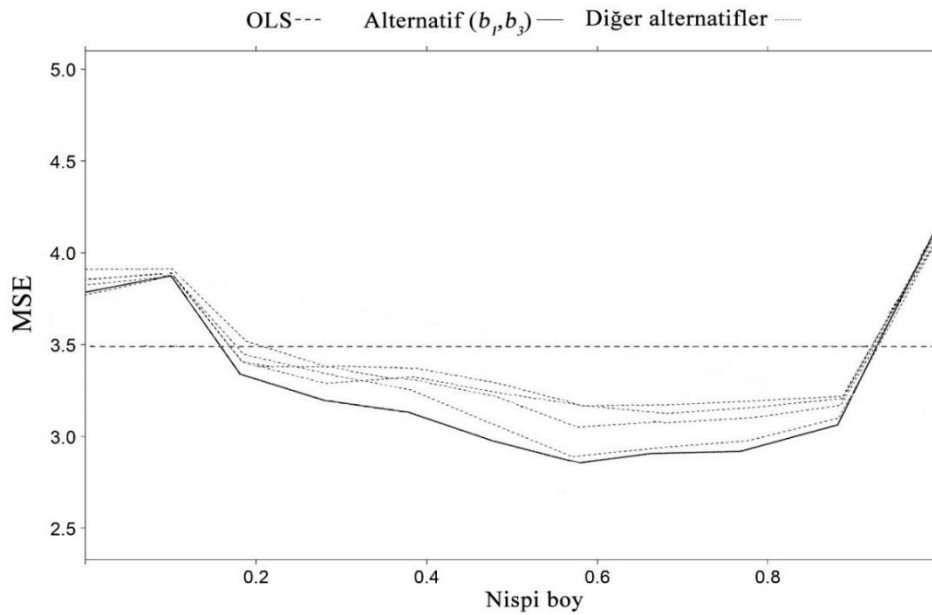


Şekil 4.8. Sabit etkili ve karışık etkili modeller için Lag-hata otokorelasyonu

4.2.3 Yeni bir ağaç için kalibrasyon işlemi

Karışık etkili modellerin geleneksel regresyon modellerine önemli bir üstünlüğü de modelin yeni bir ağaç ya da birey için kalibre edilebiliyor olmasıdır. Ancak Gomez-Garcia vd (2013) tarafından yapılan çalışmada da ifade edildiği gibi, en başarılı tesadüfi etkili parametre kombinasyonu her zaman en başarılı kalibrasyonun elde edilmesini sağlamamaktadır. Yani diğer bir deyişle, en başarılı tesadüfi etkili parametre kombinasyonu sahip model kalibrasyon işleminde en başarılı çıkamamaktadır. Bu çalışmada bu durumda değerlendirilmiştir. Bu amaçla Çizelge 4.4'teki 10 farklı tek ya da iki tesadüfi etkili parametre kombinasyonları gövde üzerinde farklı yüksekliklerdeki bir çap ölçümü için kalibrasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Çalışmada, karışık etkili modelin kalibrasyonu için tek ekstra çap ölçümü kullanılmıştır. Yapılan pek çok çalışmada, ağaç gövdesi boyunca bir ya da iki farklı noktada gerçekleştirilen çap ölçümü için uygulanan kalibrasyon sonuçları arasında önemli ve büyük farkların olmadığını belirtmiştir (Trincado ve Burkhart, 2006; Lejeune vd. 2009). Pratik ormancılık uygulamalarında ekstra çap ölçümlerinin hem envanter maliyetlerini arttırması açısından hem de ağaç gövdesinin üst bölümlerindeki çap ölçümlerinin hatalı olabilmesi ihtimali nedeniyle olumsuz durumlar ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Arias-Rodil vd. (2017) tarafından

yapılan çalışmada; doğru hacim tahminleri için ekstra çap ölçümü gerekiyorsa, bu çap değerinin mutlaka doğru ölçülmesi gerektiği aksi takdirde hacim tahminlerinde negatif hataya neden olduğu ifade edilmektedir. Şekil 4.7’de farklı tesadüfi etkili parametre kombinasyonlarının ekstra bir çap ölçümü için parametre kombinasyonları ve bunlar ve nispi boy değerleri için ortaya çıkan hata kareler ortalaması değerlerinin (MSE) değişimi verilmiştir. Karışık etkili modeller genel olarak benzer bir trend göstermiştir. Ancak en başarılı sonuçlar şekilden de görüleceği gibi β_1 - β_3 kombinasyonu ile elde edilmiştir. Bunu sırasıyla diğer kombinasyonlara ilişkin kalibrasyon sonuçları izlemiştir. Her durumda elde edilen sonuçlar tüm parametrelerin sabit olduğu duruma göre başarılıdır. Şekil 4.8’den de görüleceği gibi genel olarak tüm tesadüfi etkili parametre kombinasyonları için en başarılı kalibrasyon sonuçları, ekstra çap değerinin ağaç gövdesinin %50-70 arasında ölçüldüğünde elde edilmiştir. Bu sonuçlar Kozak (1988), Cao (2009) ve Sabatia ve Burkhart (2015) tarafından yapılan çalışmaların sonuçları ile oldukça uyumludur. Kozak (1988) ve Cao (2009) gövdenin %50’sinden ölçülen ekstra çap değerinin; Sabatia ve Burkhart (2014) is ağaç boyunu %60’ından ölçülecek ekstra çap değerinin çap tahminlerindeki başarıyı oldukça arttırdığı ifade edilmiştir. Özçelik vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada da kalibrasyon amacıyla ekstra çap ölçümü için en uygun yerin ağaç boyunu dipten itibaren %60’lık kısmı olduğu ifade edilmiştir.



Şekil 4.8. Akdeniz Bölgesi Toros göknarı için Max ve Burkhart (1976) modeli kullanılarak bir ve iki tesadüfi etkili parametre kombinasyonları için nispi boy için MSE değerleri

Şekil 4.8’de yatay kesikli çizgi sabit etkili modelin, koyu siyah çizgi başarılı parametre kombinasyonunun ve diğer kesikli çizgiler ise $(\beta_1-\beta_3)$ kombinasyonu dışındaki karışık etkili model alternatiflerini göstermektedir. Tüm farklı tesadüfi parametre kombinasyonuna sahip karışık etkili modellerin farklı nispi boylar için ortaya koyduğu trendler benzerlikler göstermektedir.

4.3. Çap-Boy Modellerine İlişkin Bulgular

Toros göknarı için 8 farklı doğrusal olmayan regresyon modeli kullanılarak geliştirilen çap-boy modellerine ilişkin ölçüt değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu ölçüt değerlerine göre en başarılı model Gompertz modelidir. Bu model 5 ölçüt değerinden üçünde diğer modellere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.7 Temel çap-boy modelinin seçimi

Modeller	Ölçüt Değerleri				
	MAE	RMSE	E	R ²	AIC
Chapman-Richards	9.9463	2.7954	0.0024	0.5499	7738
Weibull	9.9476	2.7953	0.0010	0.5499	7738
Exponent	9.9422	2.7969	0.0004	0.5494	7743
Mod-logistic	9.9433	2.7966	0.0013	0.5495	7742
Monserud	9.9300	2.7982	0.0001	0.5489	7746
Korf-Lundgvist	9.9306	2.7982	0.0005	0.5489	7746
Gompertz	9.9238	2.7942	-0.0011	0.5503	7735
Schnute	9.9464	2.7953	0.0008	0.5499	7738

MAE: ortalama mutlak hata; RMSE: Hata kareler ortalamasının karakökü; E: ortalama hata; R²: Belirtme katsayısı; AIC: Akaike’nin Bilgi Kriteri.

Bu sonuçlar temel alındığında Toros göknarı meşcereleri için karışık etkili çap-boy modelinin geliştirilmesi amacıyla Gompertz modelinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla öncelikli olarak karışık etkili çap-boy modelinin geliştirilmesinde modeldeki hangi parametre ya da parametrelerin tesadüfi etkili olmasına karar verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla farklı tesadüfi etkili parametre kombinasyonları test edilmiş ve sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en başarılı parametre kombinasyonu β_1 ve β_2 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.8. Tesadüfi parametreler için hesaplanan Akaike'nin Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayes Bilgi Kriteri (BIC) değerleri

Tesadüfi parametreler	AIC (en küçüğü en iyi)	BIC (en küçüğü en iyi)
Hiçbiri	18382	18407
β_1	18238	18251
β_2	18300	18313
β_3	18289	18302
β_1 ve β_2	<u>18214</u>	<u>18233</u>
β_1 ve β_3	18231	18250
β_2 ve β_3	18253	18272
β_1, β_2 ve β_3	Çözülemedi	

Bu sonuçlara göre Toros göknarı meşcereleri için en başarılı tesadüfi etkili parametre kombinasyonuna sahip karışık etkili model aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$h_{ij} = h_{ij} = 1.3 + (\beta_1 + u_1) \exp(-(\beta_2 + u_2) \exp(-\beta_3 d_{ij})) \quad (4.1)$$

Burada u_1 ve u_2 tesadüfi parametreleri ifade etmektedir.

Tüm veri seti için (110 örnek alan) sabit etkili model ve karışık etkili çap-boy modeli için parametre tahminleri ve önem düzeyleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bütün parametre tahminleri $p < .0001$ düzeyinde önemlidir.

Çizelge 4.9. Sabit ve Karışık etkili modeller için elde edilen parametre tahminleri ve parantez içinde gösterilen standart hataları

Model tipi	β_1	β_2	β_3	σ^2	$\sigma_{u_1}^2$	$\sigma_{u_2}^2$	$\sigma_{u_{12}}^2$
Sabit etkili	25.3110	1.9272	0.0494	7.7685			
Model	(0.4226)	(0.0761)	(0.0025)	(0.1792)			
Karışık etkili	25.7870	1.8679	0.0468	7.0948	3.0488	0.0321	0.2520
Model	(0.5114)	(0.0705)	(0.0025)	(0.1686)	(0.8324)	(0.0176)	(0.1063)

Farklı kalibrasyon alternatifleri için sabit etkili model ve karışık etkili model için elde edilen değerlendirme istatistikleri ise Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Bu amaçla sabit etkili ve karışık etkili modeller her örnek alanda örnek ağaç boyları (1 ile 10

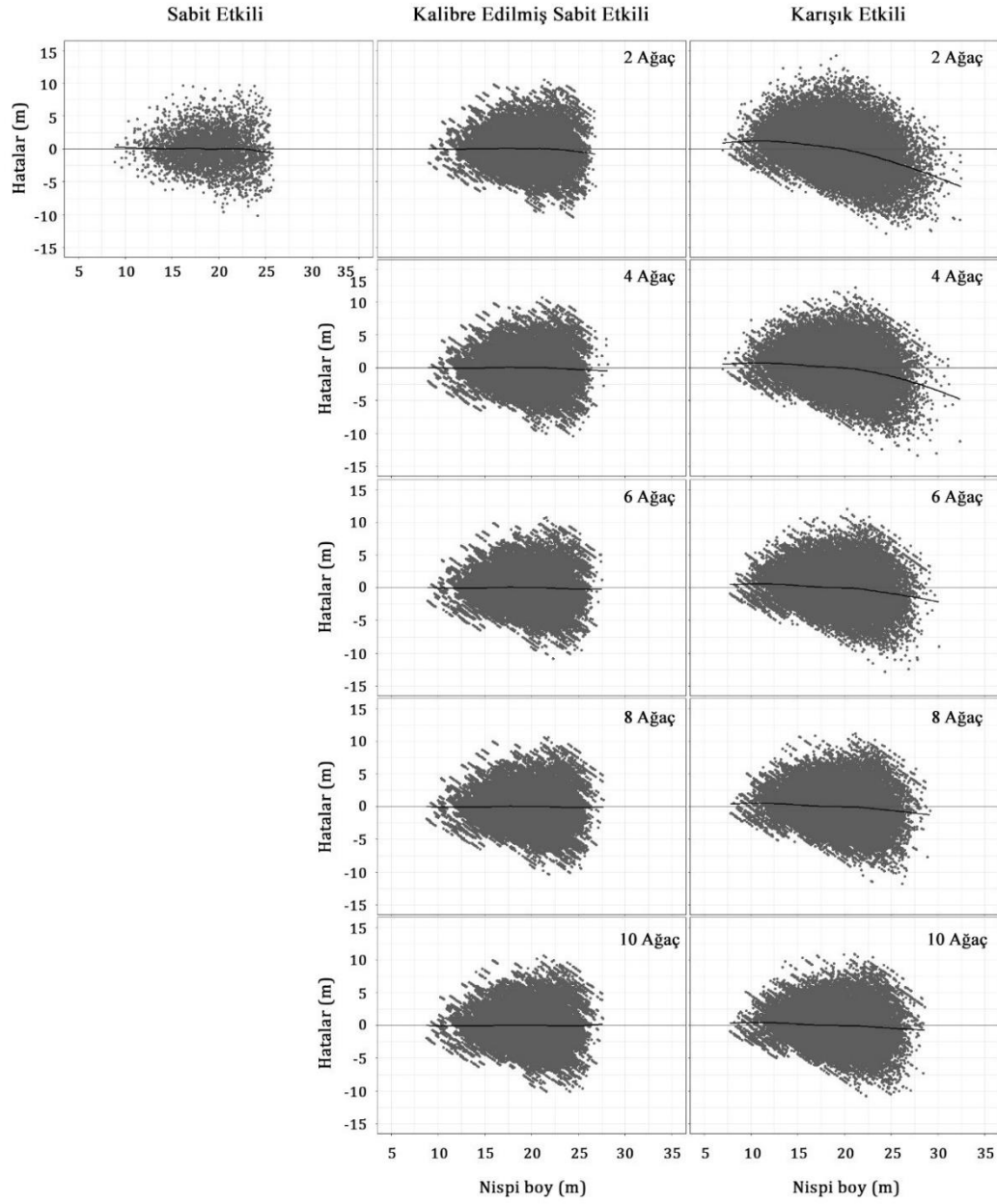
arasında değişen sayıda) kullanılarak kalibre edilmiş ve örnek alanlardaki bütün ağaçların boylarının tahmini için kullanılmıştır.

Çizelge 4.10. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modeller için elde edilen boy değerlendirme istatistikleri

Örneklenen ağaç sayısı	Sabit etkili	Kalibre edilmiş sabit etkili	Karışık etkili
<i>Ortalama Fark (MD)</i>			
0	-0.0156		
1		-0.0601	-0.0152
2		-0.0449	-0.0264
3		-0.0447	-0.0343
4		-0.0381	-0.0490
5		-0.0237	-0.0441
6		-0.0256	-0.0463
7		-0.0250	-0.0468
8		-0.0237	-0.0432
9		-0.0216	-0.0462
10		-0.0201	0.0483
<i>Mutlak Ortalama Fark (MAD)</i>			
0	2.2071		
1		2.2358	2.2019
2		2.2166	2.1976
3		2.2078	2.1909
4		2.1965	2.1825
5		2.1934	2.1779
6		2.1901	2.1709
7		2.1874	2.1662
8		2.1816	2.1610
9		2.1725	2.1577
10		2.1702	2.1537
<i>Uyum İndeksi (FI)</i>			
0	0.5483		
1		0.5124	0.5501
2		0.5298	0.5518
3		0.5432	0.5537
4		0.5498	0.5571
5		0.5528	0.5587
6		0.5549	0.5614
7		0.5584	0.5633
8		0.5604	0.5655
9		0.5620	0.5671
10		0.5636	0.5688

Kalın ve italik yazılmış değerler en iyi yöntemi temsil etmektedir.

Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili her bir modelin değişik örnekleme büyüklüklerinde ağaç boyu tahminlerine karşılık gelen hataların dağılımları Şekil 4.10'da görülmektedir.

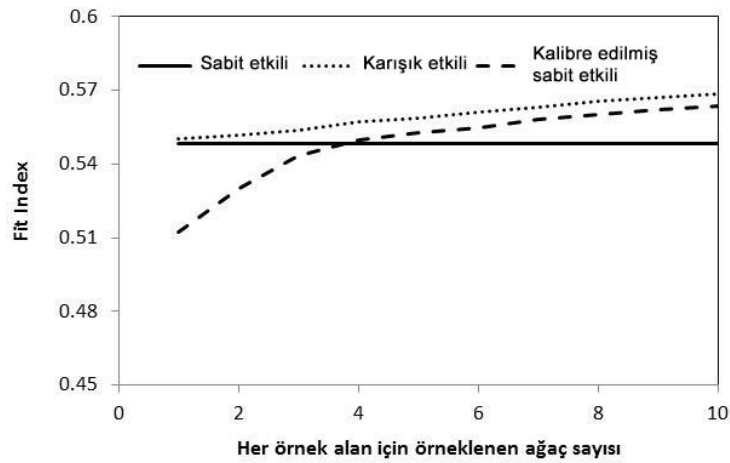
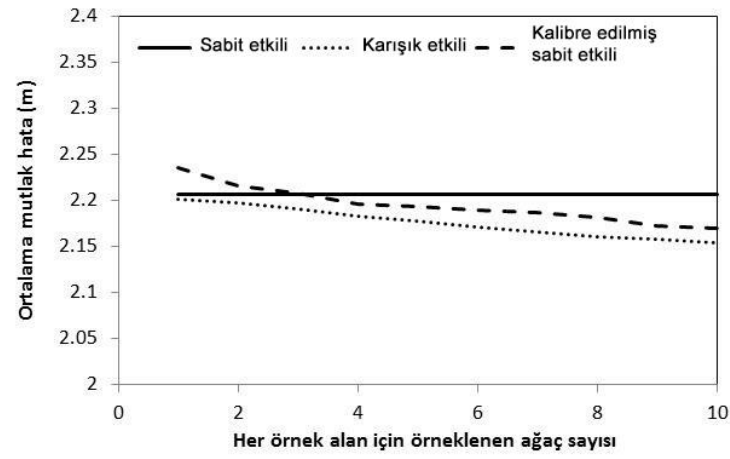
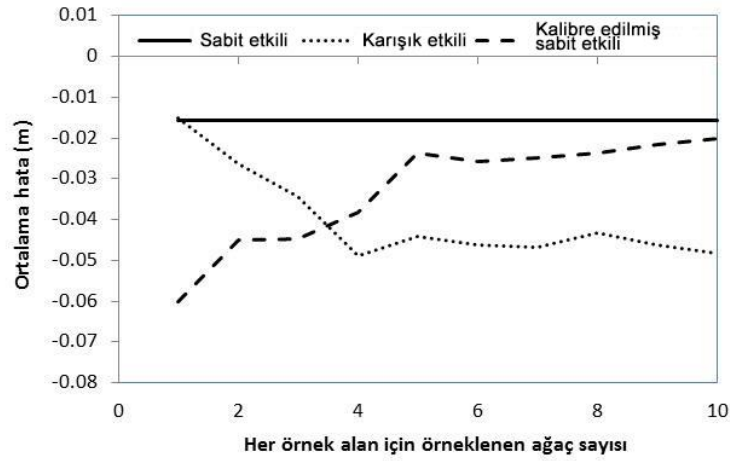


Şekil 4.10. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili regresyon modellerinin farklı kalibrasyon örneklerinde meydana gelen hata dağılımları

4.3.1. Sabit etkili model ile kalibre edilmiş sabit etkili modelin karşılaştırılması

Kalibre edilmiş sabit etkili model, sabit etkili model ile karşılaştırıldığında, tüm kalibrasyon alternatifleri için daha yüksek ortalama hata (MD) değeri göstermiştir. Bununla birlikte ortalama hata tek başına bir modelin iyi performans gösterdiğinin söylenmesi için yeterli değildir. Çünkü büyük pozitif ve negatif yönlü hatalar birbirini ortadan kaldıracıdır. Şekil 4.10'un incelenmesinden de görüleceği gibi, kalibre edilmiş sabit etkili modellere ilişkin hata dağılımı grafikleri sabit etkili modele göre daha homojen bir dağılım göstermektedir. Bununla birlikte ortalama mutlak hata (MAD) değerleri incelendiğinde, 4 ve daha fazla ağaç ile yapılan kalibrasyon alternatiflerinin sabit etkili model göre daha düşük MAD değerleri ürettiği görülmektedir. Ortalama azalma miktarı on farklı kalibrasyon alternatifi için %1-2 arasında değişmekte olup, ortalama azalma miktarı yaklaşık %1'dir. Kalibre edilmiş sabit etkili model için kalibrasyon amacıyla kullanılan ağaç sayısındaki artışla doğru orantılı olarak MAD değerleri de azalmaktadır. Uyum indeksi (Fit index) değerleri incelendiğinde de tüm kalibrasyon alternatiflerinin sabit etkili modele göre daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Tüm kalibrasyon alternatifleri dikkate alındığında uyum indeksi değerlerinin %3-7 arasında değişken oranlarda arttığı görülmektedir. Ortalama artış ise %5'dir. Benzer bulgular Lhotka (2012), VanderSchaaf (2014), ve Özçelik vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada da ortaya konmuştur. Bu çalışmada test edilen farklı kalibrasyon alternatifleri içerisinde en belirgin tahmin iyileşmesi her örnek alanda iki ağacın kalibrasyon için kullanılması ile elde edilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, farklı kalibrasyon alternatifleri için ortalama hata (MD), ortalama mutlak hata (MAD) ve uyum indeksi (FI) değerlerindeki değişimler görülebilmektedir. Özellikle MAD ve FI değerlerinde kalibrasyon amacıyla 4 ve daha fazla ağacın kullanılması arasında büyük farklılıklar olmadığı, MAD ve FI değerlerinin benzer trendler gösterdiği görülmektedir.

Her örnek alan için örneklenen ağaç sayısına ilişkin değerlendirme istatistiklerinde meydana gelen değişimlerde Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Sabit etkili, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modellerde, her örnek alan için örneklenen ağaç sayısına karşılık olarak değerlendirme istatistiklerinde meydana gelen değişimler

4.3.2. Sabit etkili model ile karışık etkili modelin karşılaştırılması

Karışık etkili model ile sabit etkili model karşılaştırıldığında, 4 ve daha fazla ağaç kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemi sonucu elde edilen ortalama hata (MD) değerleri sabit etkili modele göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Şekil 4.14'ün incelenmesinde de görüleceği gibi, farklı kalibrasyon alternatifleri kullanılarak karışık etkili model için elde edilen hata dağılımlarına ilişkin hata varyansının daha düşük ve sıfıra yakın bulunduğu görülmektedir. Tüm kalibrasyon alternatifleri dikkate alındığında Ortalama mutlak hata (MAD) değeri için karışık etkili modelin kullanımı ile yaklaşık %2'lik bir azalma olmuştur. Benzer bir değerlendirme uyum indeksi (FI) değerleri bakımından yapıldığında %3 lük bir artış ortaya çıktığı görülmektedir. Daha önce yapılan pek çok çalışmada da (Calama ve Montero, 2004; Trincado vd., 2007; Temesgen vd., 2008; Huang vd., 2009; Özçelik vd., 2018) kalibrasyon işlemi ile boy tahminlerinde önemli düzelmelerin olduğu ortaya konmuştur. Şekil 4.14'ten de görüldüğü gibi karışık etkili model kullanılarak farklı kalibrasyon alternatiflerinin test edilmesi sonucunda Toros göknarı meşcereleri için 4 ve daha fazla ağaç kullanılarak yapılan kalibrasyonlar arasında büyük farklar bulunmadığı, farklı kalibrasyon alternatifleri arasında MAD ve FI değerleri bakımından benzer trendlerin ortaya çıktığı görülmektedir.

4.3.3. Kalibre edilmiş sabit etkili model ile karışık etkili modelin karşılaştırılması

Kalibre edilmiş sabit etkili model ile kalibre edilmiş karışık etkili model karşılaştırıldığında, tümü kalibrasyon alternatifleri ve ölçüt değerleri (MAD, ve FI) için karışık etkili modelin Toros göknarı meşcerelerinde boy tahminleri için daha başarılı olduğu görülmektedir. Toros göknarı meşcereleri için karışık etkili model kullanılarak farklı kalibrasyon alternatifleri için kalibre edilmiş sabit etkili modele göre MAD değerlerinde ortalama olarak %1'lik bir azalma ve FI değerlerinde ise %2'lik bir artış ortaya çıkmıştır. Bu bulgular neticesinde, karışık etkili model kullanılarak yapılan kalibrasyon işleminin sabit etkili model kullanılarak yapılan kalibrasyona göre boy tahminlerinde daha yüksek bir iyileşme sağladığı görülmektedir. Bu durum, Özçelik vd. (2018) tarafından yapılan çalışmanın sonuçları ile de uyumludur. Sonuçlar, Temesgen vd. (2008) tarafından da belirtilen

kalibrasyonun karışık etkili model ile sabit etkili modelden daha iyi çalıştığı görüşünü de desteklemektedir. Şekil4.14'te de açık bir şekilde görüldüğü gibi, karışık etkili model kullanılarak farklı kalibrasyon alternatifleri için ortaya çıkan hata dağılımı kalibre edilmiş sabit etkili modelle ortaya çıkan hata dağılımına göre daha homojendir, hata varyansı daha düşüktür ve hatalar sıfır etrafında kümelenmiştir.

4.3.4. Kalibrasyon boyutunun tahmin başarısına olan etkisi

Elde edilen sonuçlar, Trincado vd. (2007), Temesgen vd. (2008), Huang vd. (2009), VanderSchaaf (2014) ve Özçelik vd. (2018), tarafından da ortaya konduğu gibi, kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısındaki artışa bağlı olarak boy tahminlerindeki başarının da yükseldiği görülmüştür. Ancak, tahmin başarısındaki bu artış genel olarak belirli bir ağaç sayısından sonra oldukça azalmaktadır. Dolayısı ile kalibrasyon için kullanılacak ağaç sayısı, envanter maliyetlerinde ortaya çıkacak gider ile bu işlemde sağlanacak doğruluk ve başarı arasında bir denge kuracak şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada, kalibrasyon için kullanılan ekstra ağaç sayısındaki artışa bağlı olarak ortalama hata (MD) değerleri çok fazla değişkenlik göstermemiş, ortalama mutlak hata (MAD) değerleri azalmış ve uyum indeksi (FI) değerleri ise artmıştır. Sonuç olarak, Toros göknarı meşcerelerinde doğru boy tahminlerinin en az envanter maliyeti ile yapılabilmesi için en fazla 4 ağacın boyunun ölçülmesi yeterli olacaktır. Beş veya daha fazla ekstra boy ölçümü envanter maliyetlerinde artışa neden olurken, boy tahminlerinde başarıyı çok arttırmamaktadır.

Calama ve Montero (2004), boy tahminlerindeki başarıyı arttırmak için ekstra ağaç ölçümleri ile kalibrasyon yapılmasını önermiştir. Trincado vd. (2007) kalibrasyon işlemi için kullanılacak ağaç sayısının artırılması ile boy tahminlerindeki doğruluğunda arttığını ancak bu artışın kayda değer olmadığını ifade etmiştir. Benzer bir durum bizim çalışmamızda da görülmüş ve özellikle kalibrasyon için üç ya da daha fazla ağaç kullanılması ile elde edilen tahmin başarısının 1 ya da 2 ağaç kullanılarak yapılan kalibrasyondan çok farklı olmadığı görülmüştür. Benzer bulgular Temesgen vd. (2008) ve Huang vd. (2009) tarafından da bildirilmiştir. Huang vd. (2009) çalışmasında kalibrasyon için 1 ile 9 arasında değişken sayıda örnek ağaç kullanmış ancak boy tahminlerindeki en bariz kazanımın 1 ağaç kullanıldığında elde edildiğini görülmüştür. Benzer bir sonuç Temesgen vd. (2008)

tarafından da ortaya konmuştur. Temesgen vd. (2008) çalışmasında kalibrasyon için 1 ile 15 arasında değişken sayıda ağaç boyu kullanılmıştır. Özçelik vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise kalibrasyon amacıyla iki farklı ağaç türü için 1-10 adet ağacın boyu kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kalibrasyon için her örnek alanda en fazla 4 ağacın ölçülmesinin örnekleme maliyeti ve tahminlerdeki doğruluk ve başarı arasındaki ilişkiyi dengelemek adına yeterli olduğunu ifade etmiştir. Adame vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, farklı kalibrasyon alternatifleri test edilmiş ve kalibrasyon için 2 veya 3 ağaç kullanılmasının gerekli ve yeterli olduğu ortaya konmuştur. Lhotka (2012) tarafından yapılan çalışmada ise, örnek alanlardan tesadüfi olarak seçilen 3, 5 ve 7 ağaç kullanılarak kalibrasyon yapılmış, tüm kalibrasyon alternatifleri, temel modele göre daha başarılı tahmin performansı göstermiştir. Bununla birlikte kalibrasyon için kullanılan ağaç sayısının artışına bağlı olarak modelin tahmin yeteneğindeki iyileşme minimal seviyede kalmıştır.

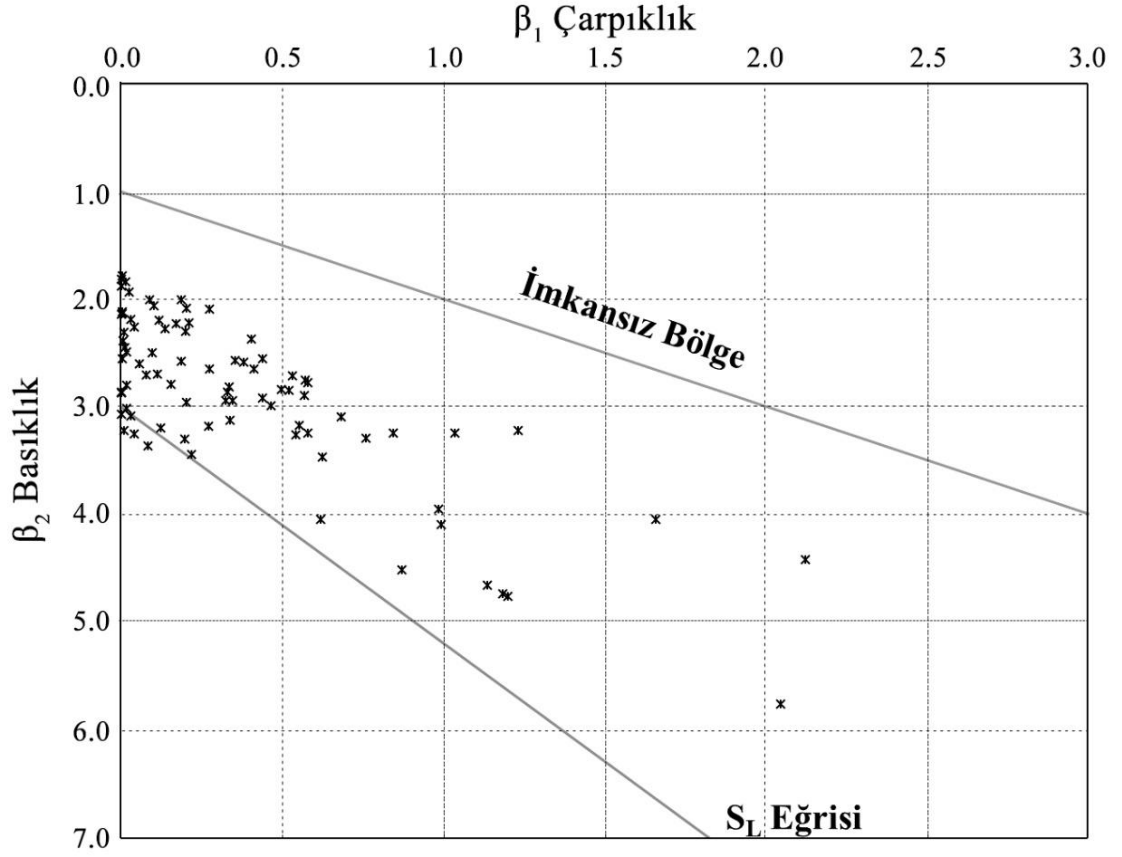
VanderSchaaf (2013)'ın Minnesota'daki ekonomik ve ekolojik açıdan önemli yapraklı ağaç türleri ve VanderSchaaf (2014)'ın Amerika'nın Kuzeybatısındaki 10 iğne yapraklı ağaç türü için yaptığı çalışmalarda, meşcere düzeyinde yapılacak kalibrasyon işlemi için 3 ağacın, daha büyük alanlarda yapılacak kalibrasyonlar için ise 10-15 ağacın kullanılmasının uygun olacağını ifade etmiştir.

Diğer yandan, Adame vd. (2008), Huang vd. (2009), Crecente-Campo vd. (2010), Lhotka (2012), ve Özçelik vd. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda göstermiştir ki temel boy-çap modelin doğruluğu ve tahmin kabiliyeti ağaç ya da meşcere yaşı, meşcere sıklığı, bonitet endeksi, dominant boy ve göğüs yüzeyi vb. ilave ağaç ya da meşcere değişkenlerinin eş değişken (covariates) olarak modele eklenmesi ile iyileştirilebilmektedir. Ancak Huang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada, doğrusal olmayan karışık etkili modelleme yaklaşımı kapsamında içerisinde, temel boy-çap modeline diğer ağaç ya da meşcere değişkenlerinin eklenmesi ile temel modele göre model performansında önemli bir kazanım sağlanmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada sadece temel boy-çap modeli doğrusal karışık etkili modelleme yaklaşımı işe geliştirilmiştir.

4.4. Çap Dağılım Modellerine İlişkin Bulgular

Yüzdellik değer yöntemini temel alan parametre çözüm metodu kullanılarak elde edilen parametre tahmin sonuçları Çizelge 4.11’de verilmiştir. Daha önceki bölümlerde de açıklanmaya çalışıldığı üzere Parresol (2003) tarafından geliştirilen üç parametre çözüm yöntemi gereğince, dört parametrelili Johnson’s S_B dağılımının üç parametresi (aralık (λ)) ve biçim parametreleri (γ ve δ) Çizelge 4.11’deki gibi tahmin edilmiştir. Aşağıdaki tablodan da görüleceği üzere, neredeyse tüm örnek alanlara ilişkin L1-norm değerleri oldukça küçüktür. Delta değerinin (δ) <0.7 ’den küçük olması genellikle iki modlu dağılımı ifade etmektedir. Aşağıda verilen Çizelge 4.11 incelendiğinde örnek alanlara ilişkin δ değerlerinin neredeyse yarısının 0.7 değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu duruma ilişkin bir örnek Şekil 4.13’te verilmiştir. Johnson’s S_B dağılımı ile elde edilen deneysel dağılım iki modludur ve bu iki örnek alan içinde δ değerleri 0.7’den daha küçüktür. Diğer yandan 14 no’lu örnek alana ilişkin $\delta=0.6$ ve $\gamma=0.07$ ‘dir bu durum hafifçe sağa çarpık iki modlu dağılıma örnektir. Öte yandan 58 no’lu örnek alan ilişkin $\delta=0.58$ ve $\gamma=-0.62$ ise sola çarpık çift modlu bir dağılımı ifade etmektedir (Şekil 4.15). Sonuç olarak delta ve gama değerlerine göre dağılımın sola ya da sağa çarpıklığı konusunda genellemeler yapılabilmektedir. Öte yandan örnek alan 16’daki durum bir sağa çarpık durumu ve örnek alan 35’teki durum ise sola çarpık bir dağılımı göstermektedir (Şekil 4.16).

Şekil 4.12 incelendiğinde, çap dağılımı için gözlenen değerlerin çarpıklık ve basıklık doğruları ($\beta_1-\beta_2$) arasındaki bölgede meydana getirdikleri dağılım görülmektedir. Grafikteki her nokta hesaplanan çarpıklık ve basıklık değerleri ile belirlenen birer dağılımı ifade etmektedir. Üst çizginin üzerindeki bölge ($\beta_2-\beta_1-1=0$) imkânsız bölge olarak tanımlanmaktadır. S_L olarak ifade edilen alt çizgi, S_B bölgesini (imkânsız bölge ile S_L çizgisi arasında kalan bölge) S_U (S_L çizgisinin üzerindeki bölge) bölgesinden ayırmaktadır.



Şekil 4.12. Çap dağılımı için gözlenen değerlerin çarpıklık ve basıklık doğruları (β_1 - β_2) arasındaki bölgede meydana getirdikleri dağılım

Çizelge 4.11. Johnson's S_B dağılımı için parametre tahmin sonuçları

Örnek Alan No	XI	Lamda (λ)	Gamma (γ)	Delta (δ)	EI	K-S	RC
1	11	36.26796	0.305172	1.290625	4.19	0.21273	3
2	13.5	30.44353	-0.18939	0.689263	8.53	0.1942	3
3	16.5	19.4534	-0.11978	0.70585	8.83	0.24993	3
4	17.8	27.43558	0.089937	0.802597	6.39	0.22743	3
5	20.8	32.30922	0.211016	0.533363	10.30	0.22119	3
6	19.2	18.71	-2.32086	0.308064	57.62	0.22425	3
7	19.6	28.20292	0.116154	0.345028	11.14	0.23424	3
8	17.2	46.82238	0.519563	1.006613	18.30	0.22425	3
9	17.2	41.14547	0.049459	0.75598	34.19	0.23076	3
10	18.2	47.44501	0.795014	0.9024	9.95	0.21544	3
11	19.3	47.65513	0.725883	0.921525	22.81	0.22425	3
12	19.3	32.10625	0.102865	0.410034	24.84	0.22119	3
13	22.3	26.49368	-0.03646	0.300317	21.53	0.23424	3
14	21.9	27.55359	0.063984	0.40848	21.59	0.23424	3
15	18.1	36.96383	0.203222	0.635117	11.23	0.22743	3
16	15.8	56.57382	0.750977	0.959533	22.41	0.22119	3
17	16.4	47.03144	0.477984	0.759392	11.19	0.22743	3
18	19.3	39.3815	0.033906	0.68007	12.51	0.21826	3

Çizelge 4.11. Johnson's S_B dağılımı için parametre tahmin sonuçları (Devam)

19	20.8	50.17048	0.852036	0.861363	19.84	0.22743	3
20	14.7	42.86798	0.169076	0.412326	24.18	0.21826	3
21	21.1	33.23978	0.100031	0.527918	20.11	0.22119	3
22	19.2	30.88223	0.034375	0.413719	24.81	0.23076	3
23	14.9	41.43399	-0.23394	0.571358	33.94	0.23076	3
24	21.3	39.58332	0.366495	0.812094	9.77	0.23076	3
25	25	40.96171	0.067013	0.462602	40.58	0.21826	3
26	48	12.01	-1.20574	0.17006	70.33	0.18659	3
27	24	28.61252	-0.20889	0.395376	33.77	0.20517	3
28	20	24.18099	0.019794	0.037861	42.65	0.22425	3
29	11	34.43668	0.247939	1.079703	7.25	0.21544	3
30	14.5	37.70158	0.290948	0.954567	7.51	0.21544	3
31	19	39.54351	0.360379	0.40428	28.04	0.22425	3
32	12	41.20949	-0.04258	1.109659	7.29	0.22743	3
33	13	33.89663	-0.29668	0.697386	13.25	0.2417	3
34	13.7	35.7783	-0.56052	0.915608	7.18	0.23788	3
35	17.8	45.98322	0.576693	1.080954	22.83	0.22743	3
36	13.2	48.7598	0.263853	0.974682	10.79	0.20283	3
37	14.5	16.71	-142.993	19.26978	37.79	0.21826	3
38	10.5	17.46	-159.18	21.32498	38.93	0.2417	3
39	13	33.00782	0.236061	0.641252	6.91	0.22743	3
40	10	37.99138	0.112727	0.765737	8.70	0.22425	3
41	13.9	42	0.304733	0.468397	16.56	0.21826	3
42	19.6	41.59425	0.681455	0.82898	6.14	0.21826	3
43	15.3	36.84372	-0.50109	0.590552	31.57	0.23424	3
44	19	35.21397	0.519805	0.758581	8.21	0.21544	3
45	17	46.71164	0.355608	0.642235	26.32	0.22743	3
46	19.9	36.79713	0.194264	0.490212	33.58	0.23424	3
47	21.2	46.37158	0.793587	0.715378	7.17	0.23076	3
48	20.9	15.61	-120.636	16.40761	54.02	0.23076	3
49	16.3	35.4601	0.076428	0.657031	8.73	0.23788	3
50	17.2	33.16554	-0.09404	0.512474	16.24	0.22425	3
51	20.2	33.74394	0.089312	0.568763	19.52	0.22743	3
52	18.8	36.45982	0.049909	0.178656	62.60	0.23788	3
53	19.2	53.18579	1.306435	1.107008	7.17	0.23076	3
54	14.6	54.30582	0.578574	0.728212	17.88	0.21826	3
55	16.8	20.56	-61.4689	8.058287	52.59	0.22119	3
56	21.3	26.99045	0.004404	0.100635	44.85	0.22425	3
57	16.6	54.70839	0.575162	0.856508	25.94	0.21826	3
58	12.9	37.09476	-0.48094	0.548097	14.06	0.22119	3
59	23.5	27.15289	-0.09618	0.456932	18.08	0.22743	3
60	13.1	45.11019	0.083212	0.718242	17.52	0.22743	3
61	17.8	35.10419	0.351658	0.606302	28.95	0.23788	3
62	21.3	39.26501	0.220382	0.623771	22.75	0.23424	3
63	15.4	30.99492	-0.21232	0.435753	10.97	0.23424	3

Çizelge 4.11. Johnson's S_B dağılımı için parametre tahmin sonuçları (Devam)

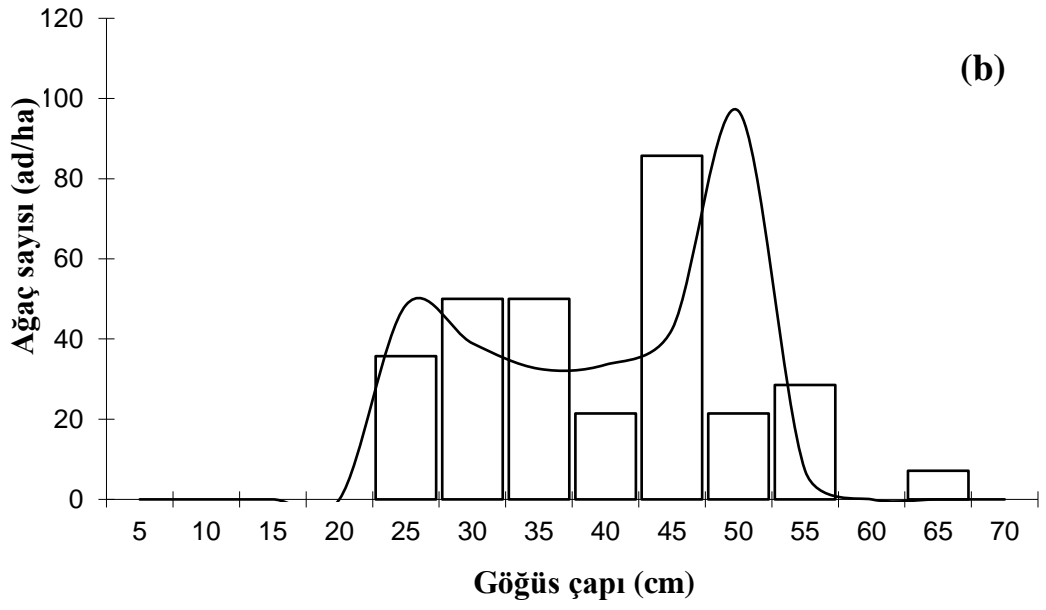
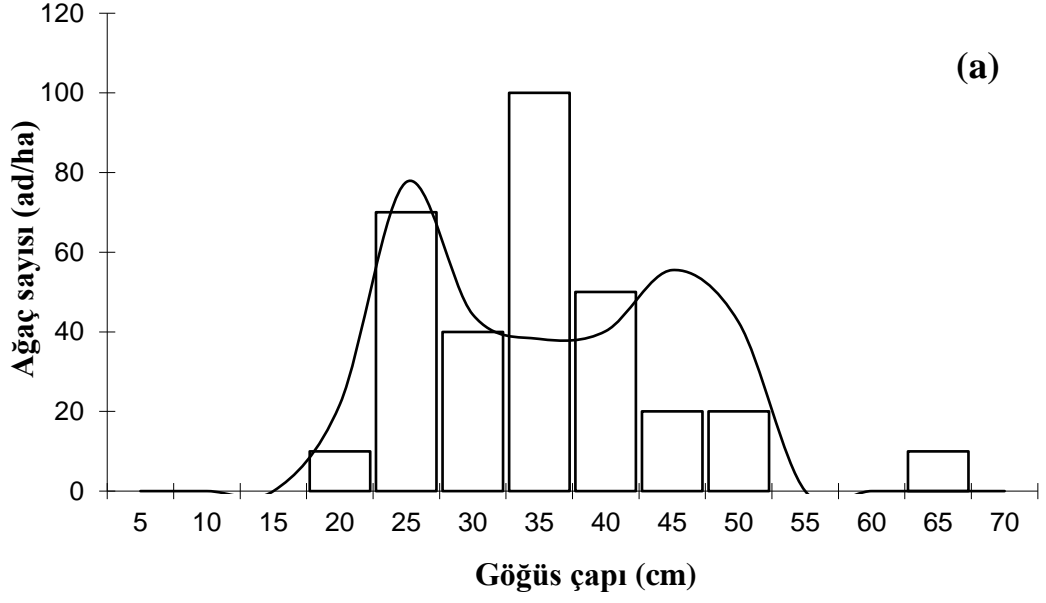
64	16.8	41.69175	0.107304	0.722158	19.63	0.22425	3
65	20.8	35.22097	0.352686	0.462227	15.25	0.23788	3
66	20.4	37.9853	0.427682	0.508851	19.17	0.22743	3
67	19.2	45.5789	0.220321	0.78196	25.77	0.23076	3
68	24.7	37.51576	0.729418	0.53233	18.05	0.23424	3
69	18.6	32.88658	-0.09733	0.6111	18.61	0.22743	3
70	16.8	43.21487	0.143246	0.698634	24.27	0.23788	3
71	18.5	42.56302	0.722052	0.968983	9.64	0.22119	3
72	13.2	43.09721	0.033851	0.664678	22.70	0.23788	3
73	17.3	40.76714	0.208479	0.526522	20.96	0.23788	3
74	20.5	31.36016	-0.03857	0.419764	23.77	0.25438	3
75	19	43.49564	0.167358	0.547575	27.32	0.23424	3
76	21.9	22.42158	-0.21258	0.451903	7.52	0.2417	3
77	18.1	29.69174	0.017787	0.381661	27.54	0.25438	3
78	15.9	40.61715	-0.11334	0.606702	38.55	0.23788	3
79	22.4	29.96731	0.162433	0.388999	36.09	0.22425	3
80	18.5	45.64631	0.317425	0.579089	40.63	0.2417	3
81	22.3	18.36	-3.22315	0.428907	69.49	0.23424	3
82	17.8	27.24722	-0.29141	0.448517	27.72	0.23076	3
83	17	55.44282	0.932675	1.14901	7.05	0.22743	3

EI: Hata indeks değeri, K-S: kolmogorov-Smirnov değeri, RC: Çözülen parametre sayısı

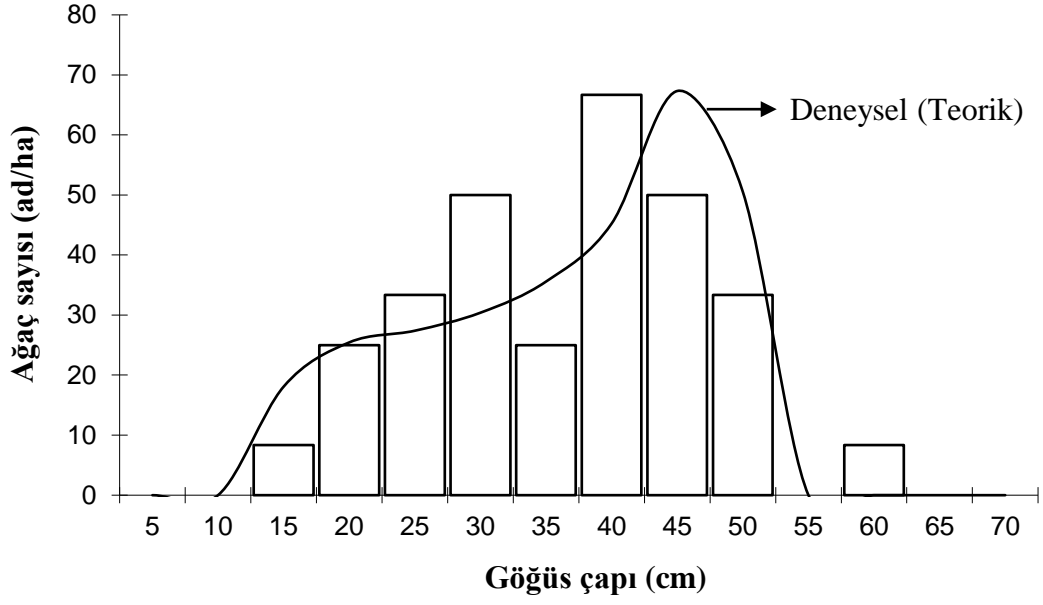
Çizelge 4.12'de görüldüğü gibi, 83 dağılım için hata indeksi değerlerinin medyanı 19.63 m²/ha olarak elde edilmiştir. Bu tabloda verilen hata indeksi değerleri, çap sınıfları itibariyle ortaya çıkan tutarsızlıkların sonuçlarını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.12. 3-PRM Yöntemi için hata indeksi istatistiklerinin özeti

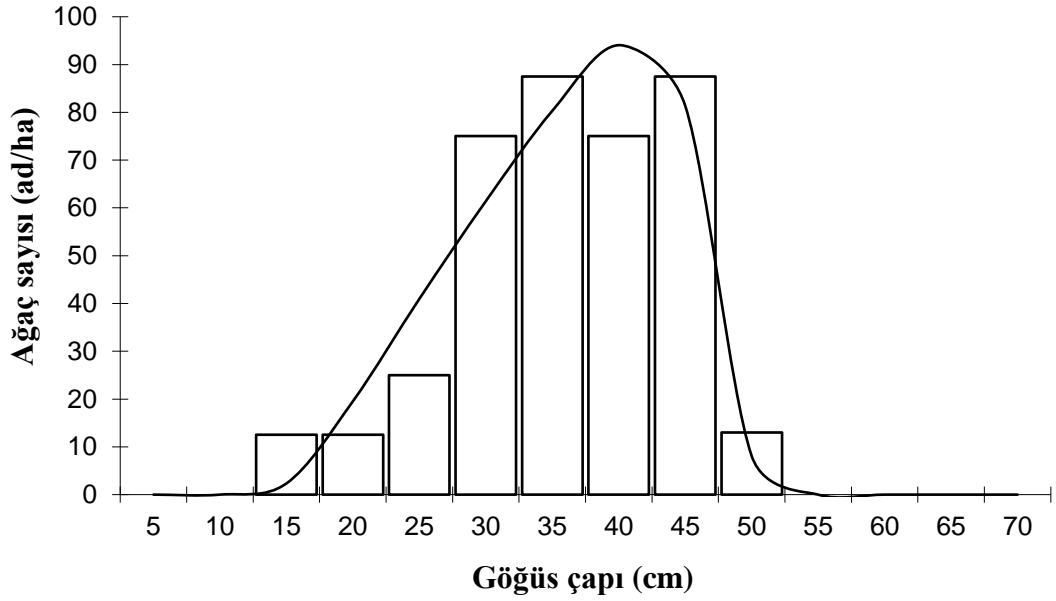
Değişken	Ortalama	Minimum	Maksimum	SD	Medyan
4-PRM	22.11	4.19	69.49	14.52	19.63



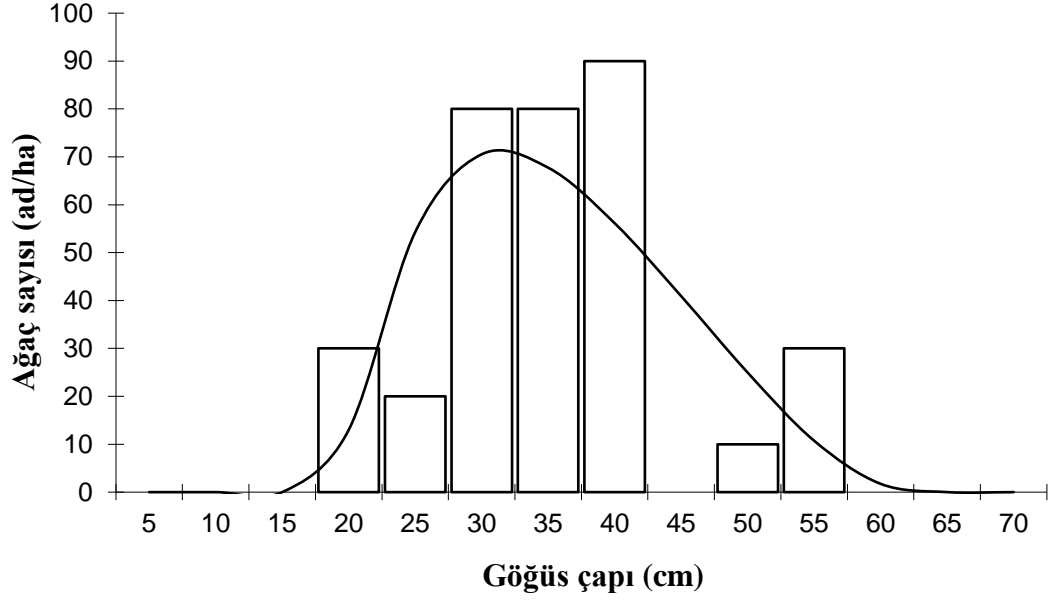
Şekil 4.13. 14 (a) ve 27 (b) no'lu örnek alan ilişkin gözlemlenen ve tahmin edilen çap dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 4.14. 58 no'lu örnek alana ilişkin deneysel dağılım çift modlu ve sola çarpık bir dağılım örneği

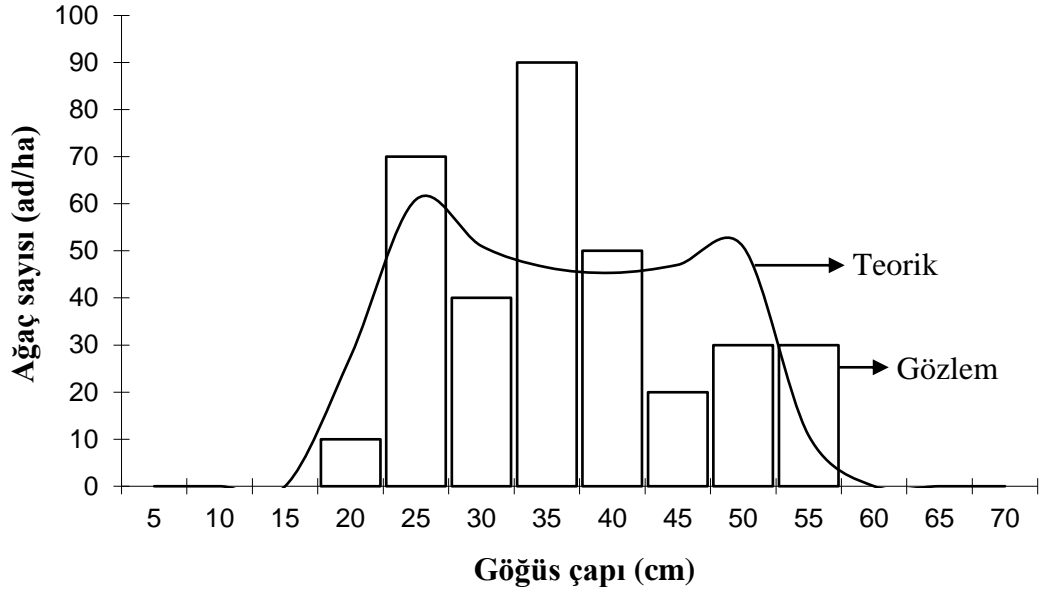


Şekil 4.15. 34 no'lu örnek alana ilişkin sırasıyla sola çarpık ve tek modlu dağılımlara ilişkin örnek



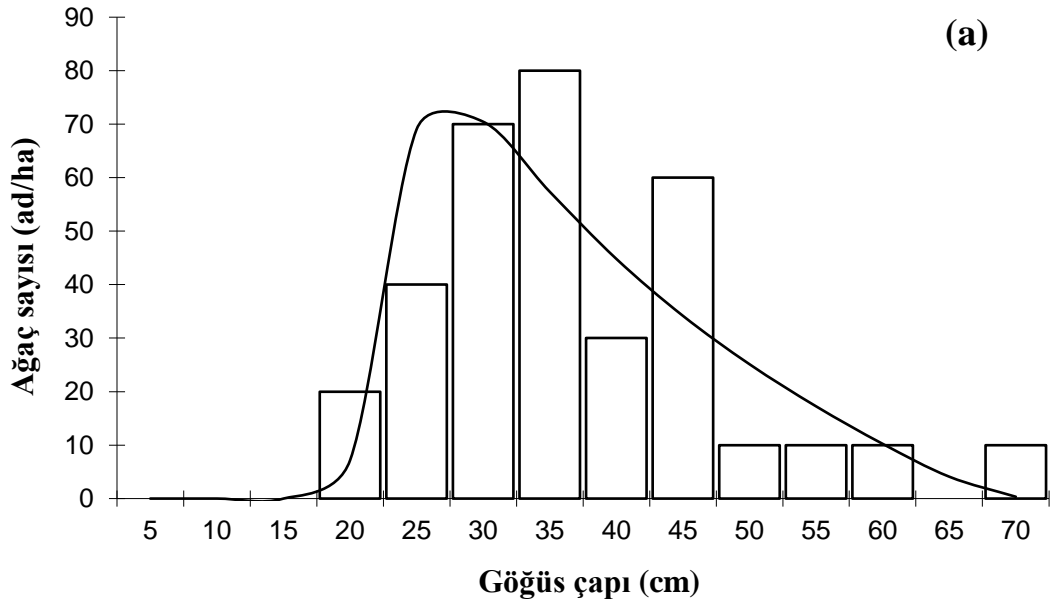
Şekil 4.16. 35 no'lu örnek alana ilişkin sırasıyla sağa çarpık ve tek modlu dağılımlara ilişkin örnek

Şekil 4.17'de ise diğer bir çift modlu dağılıma örnek gösterilmiştir. Burada örnek alan 51'e ilişkin dağılımın yapısı görülmektedir. Johnson's S_B dağılımı ile elde edilen tahmini teorik dağılımda modlar 10 cm ve 30 cm'de iken gözlemlenen dağılımda mod değerleri 15 cm ve 20 cm'de dir. Gözlemlenen dağılım ile tahmin edilen teorik dağılım arasında kısmen farklılıklar meydana gelse de Johnson's S_B dağılımı ile başarılı bir çap dağılımının yapılacağı anlaşılmaktadır. Parresol vd. (2010) tarafından da ifade edildiği gibi bu tip dağılımların Weibull ve Lognormal gibi dağılım fonksiyonları ile ortaya konması mümkün olamamaktadır.

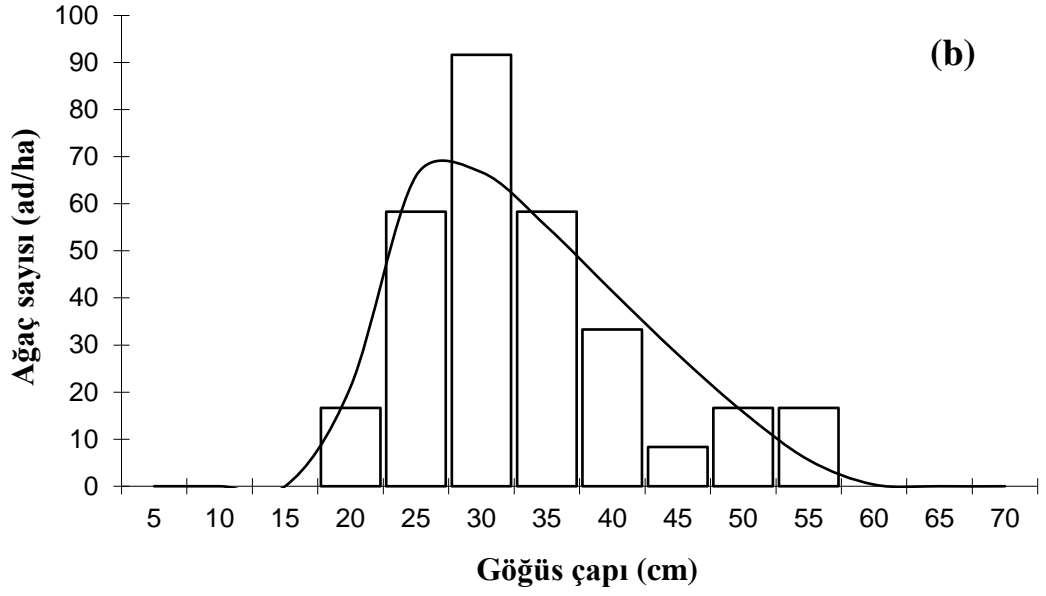


Şekil 4.17. 51 no'lu örnek alanlara ilişkin tahmin edilen ve gözlemlenen çap dağılımları arasındaki ilişkiler

Şekil 4.18'de ise klasik bir sağa çarpık tek tepeli bir durum görülmektedir. Çalışma kapsamında değerlendirilen örnek alanların bazılarında da benzer bir dağılım şekli ile karşılaşılmıştır.

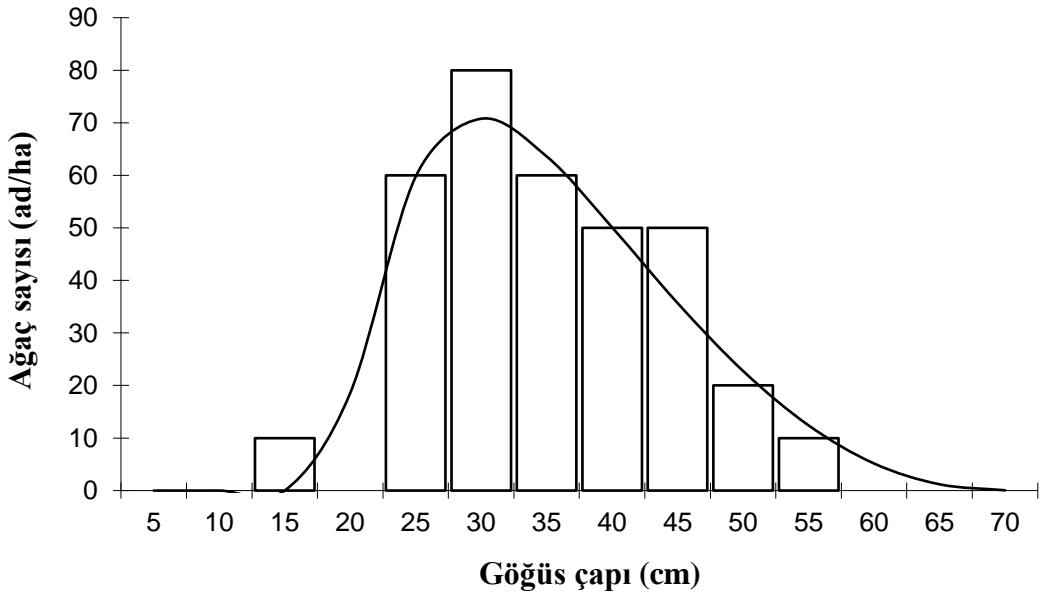


Şekil 4.18. 19 (a) ve 71 (b) no'lu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen tek modlu ve sağa çarpık çap dağılımları



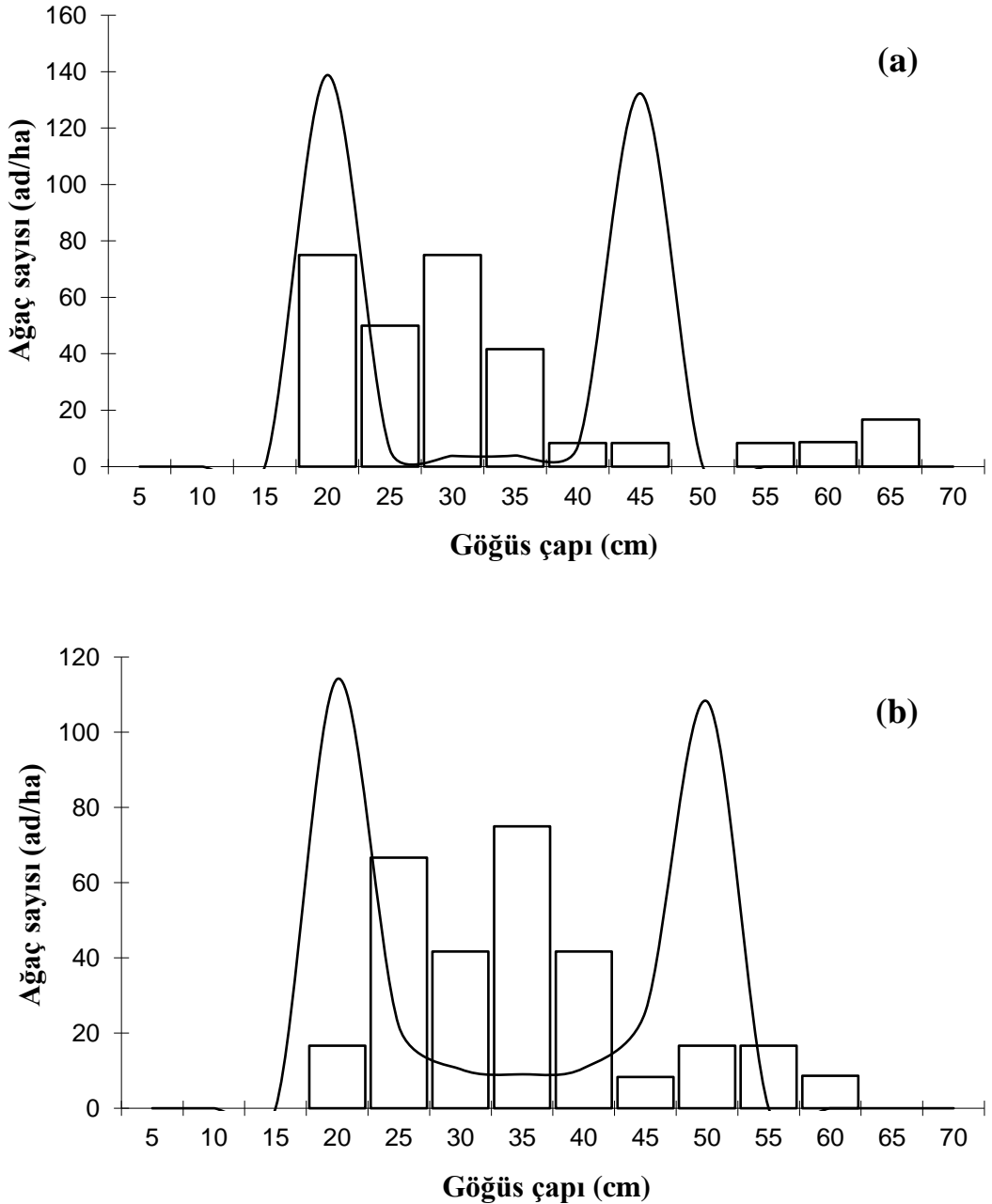
Şekil 4.18. 19 (a) ve 71 (b) no'lu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen tek modlu ve sağa çarpık çap dağılımları (Devam)

Şekil 4.19'da ise gözlemlenen ile tahmin edilen dağılımlar arasında oldukça yüksek bir başarının olduğu görülmektedir. Bu dağılımlarda tek modlu ve üniform bir dağılım şekli görülmektedir.



Şekil 4.19. 83 no'lu örnek alanlara ilişkin olarak tahmin edilen, gözlemlenen ve uyumlu bir dağılım

Bununla beraber Johnson's SB dağılımı ile bazı örnek alanlarda oldukça başarısız teorik dağılımlar da elde edilmiştir. Örnek alan 28 ve 56 için çap dağılım modeli ile elde edile tahmini teorik dağılım ile gözlemlenen dağılım arasında oldukça büyük farklılıklar elde edilmiştir. Örnek alanlardan elde edilen hata indeksi değerleri göz önünde bulundurulduğunda bu örnek alanlara ilişkin hata indeksi değerlerinin oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.20).

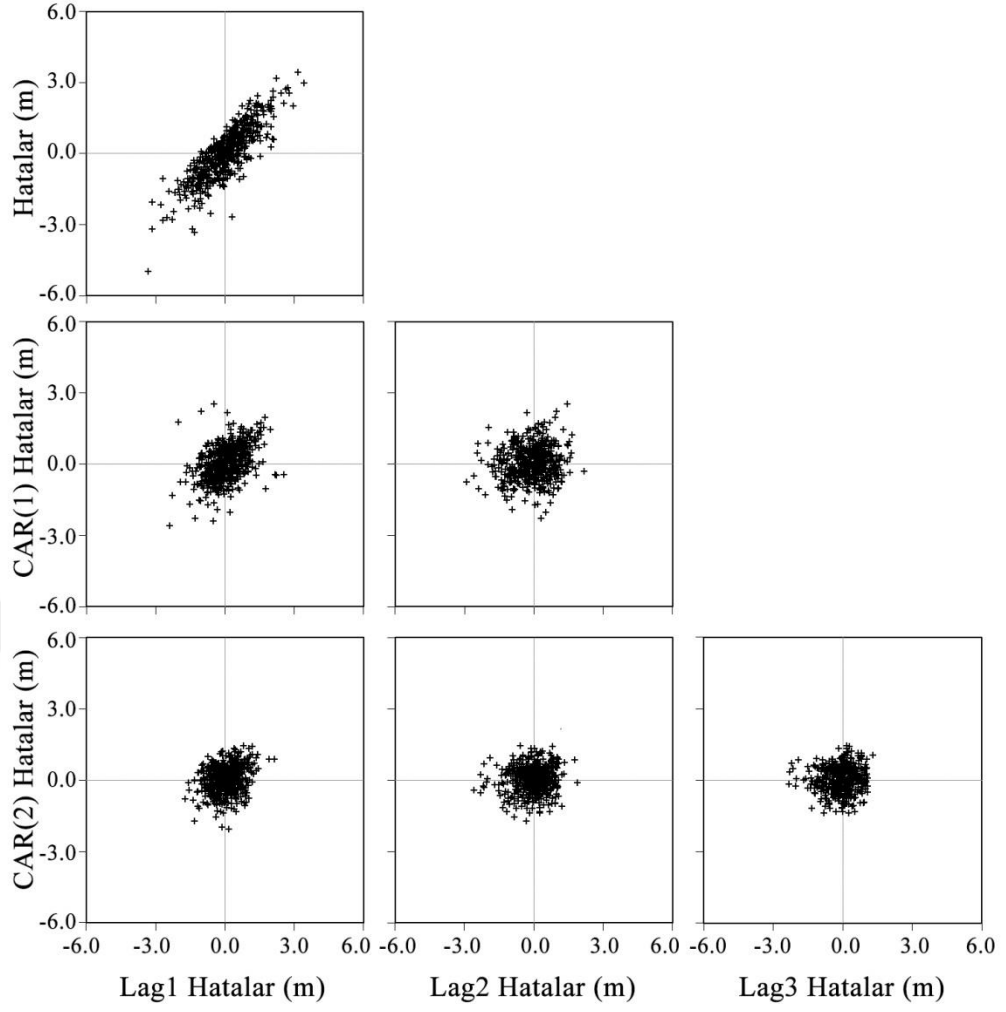


Şekil 4.20. 28 (a) ve 56 (b) no'lu örnek alana ilişkin olarak tahmin edilen ve gözlemlenen oldukça farklı çap dağılımları

4.5. Bonitet Endeks Modellerine İlişkin Bulgular

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, bonitet endeksi modellerinin geliştirilmesi sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden birisi otokorelasyon problemidir. Çalışmada, veri yapısında var olması muhtemel otokorelasyon probleminin çözümü için sürekli otoregresif hata yapısı (CAR(X)) kullanılmıştır. Şekil 4.21'in birinci satırında bonitet endeksi modelinde otokorelasyon probleminin varlığı görülmektedir. Bu ilişkili hata yapısının ortadan kaldırılması amacıyla, ilgi şeklin ikinci satırında, modele birinci derece otoregresif hata yapısının eklenmesi ile otokorelasyon probleminin kısmen ortadan kalktığı, üçüncü satırda ise ikinci derece otoregresif hata yapısının (CAR(2))'nin modele eklenmesi ile bu sorunun ortadan kalktığı görülmektedir. Benzer bulgular, yani bonitet endeksi modellerinin geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan otokorelasyon probleminin çözümü amacıyla otoregresif hata yapısının kullanılması, diğer araştırmacılar tarafından da ortaya konmuştur (Dieguez-Aranda vd. 2005; Vargas-Larreta vd. 2013; Lauer ve Kush 2010; Özçelik vd. 2019). Büyüme modellerinin geliştirmesinde, otokorelasyonun dikkate alınması parametrelerin kovaryans matrislerinin düşük tahmin edilmesini önleyerek alışımlı istatistiklerin yapılmasını mümkün kılmaktadır (West vd. 1984). Bu çalışmada, aynı birey üzerinde belirli aralıklara ölçülen veriler arasında ortaya çıkan mekânsal (uzaysal) korelasyon, her bireye birbirinden bağımsız olarak "bireye özel" bir boş değişken kullanılarak "Dummy Variable" yaklaşımı ile ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Seri korelasyonun çözümünde ise sürekli otoregresif hata yapısı kullanılmıştır (Diéguez-Aranda vd. 2005; Lauer ve Kush 2010).

Çalışmada bonitet endeksi modelinin geliştirilmesinde kullanılan modellere ilişkin parametre tahminleri ve hata istatistikleri Çizelge 4.15'te verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, iki yetişme ortamı bazlı parametreye sahip modellerin (GADA modelleri--1a, 2a ve 3a, 4 ve 5) bir yetişme ortamı bazlı parametreye sahip modellere (ADA modelleri) göre veri yapısını tanımlamada daha başarı oldukları söylenebilir. Bu bir yetişme ortamı bazlı modeller ADA (Cebirsel Fark Yaklaşımı) modeli olarak da ifade edilebilir. İki parametresi yetişme ortamı bazlı modellerinin tek parametresi yetişme ortamı bazlı modellere göre özellikle büyük yaş değerleri için daha doğru sonuçlar verdiği söylenebilir.



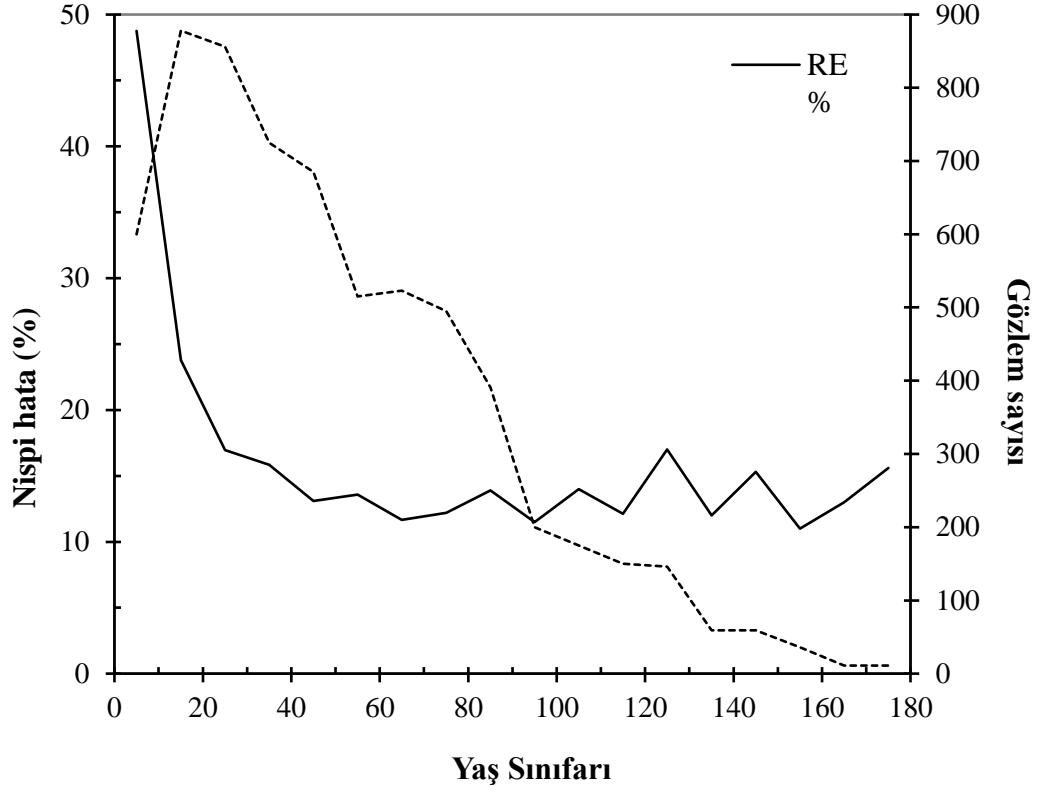
Şekil 4.21. Model 1a için hata dağılımları: modelinin parametreleri arasında otokorelasyon olmadığı düşüncesiyle testi (ilk satır) ve birinci ve ikinci derece otoregresif hata yapısı ile testi (sırasıyla ikinci ve üçüncü satırlar)

Çizelge 4.13. Seçilen 8 farklı büyüme modeli için hesaplanan parametre değerleri ve model performans ölçüt kriterleri

Model	Parametre	Tahmin	Standart			
			Hata	RMSE	R ²	AIC
1a	b_1	-8.775	1.814	<u>0.6181</u>	<u>0.9938</u>	<u>-445</u>
	b_2	37.057	6.355			
	b_3	0.0156	0.0012			
1b	b_1	32.12	1.0283	0.6401	0.9934	-409
	b_3	1.753	0.0707			
2a	b_1	35.276	1.3622	0.6261	0.9936	-436
	b_2	268.6	99.1977			
	b_3	1.593	0.0494			
2b	b_1	38.49	1.7065	0.6252	0.9936	-438
	b_3	1.621	0.0494			
3a	b_1	4.201	0.0981	0.6278	0.9936	-431
	b_2	-24.24	5.7353			
	b_3	-0.4646	0.0332			
3b	b_1	4.7327	0.1539	1.1432	0.9788	242
	b_3	-0.4653	0.0334			
4	b_1	63.0698	2.672	0.6730	0.9926	-355
	b_3	0.3118	0.0319			
5	b_1	38.87189	1.7668	0.6226	0.9937	-441
	b_2	2.092234	0.1471			
	b_3	-3.32891	0.9730			

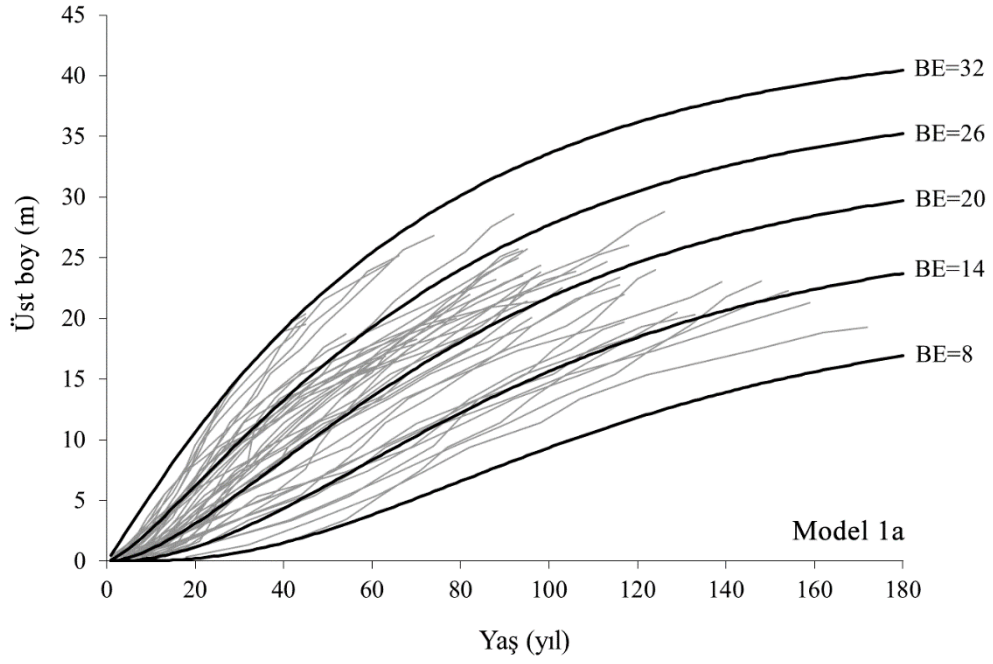
Çizelge 4.13'ün incelenmesinde de görüleceği gibi, en başarılı sonuçlar model 1a (Chapman-Richards) ile elde edilmiştir. Söz konusu model için model performanslarının değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt değerlerinden RMSE 0.6181, R² 0.9938 ve AIC ise -445 olarak bulunmuştur. Çalışmada test edilen tüm bonitet endeksi modellerinin model 3b hariç, boy tahminlerindeki varyasyonun %99'undan daha fazlasını açıklayabildiği görülmektedir.

Şekil 4.22'de, 5-160 yaşları arasında en düşük nispi hata değeri yaklaşık olarak 90 yaş civarında elde edilmiştir. Genel olarak Türkiye'de ormancılık çalışmalarında verimli orman alanlarında Toros göknarı için idare süresi olarak 120 yıl kullanılmaktadır. Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi (Dieguez-Aranda vd. 2006), meşcerelere uygulanacak silvikültürel müdahalelere karar vermeye yardımcı olmak adına idare süresinin mümkün olduğu kadar genç yaşların seçilmelidir. Bu nedenle çalışmanın yürütüldüğü doğal Toros göknarı meşcereleri için standart yaşın 90 yıl alınmasının daha uygun olacağı ifade edilebilir.

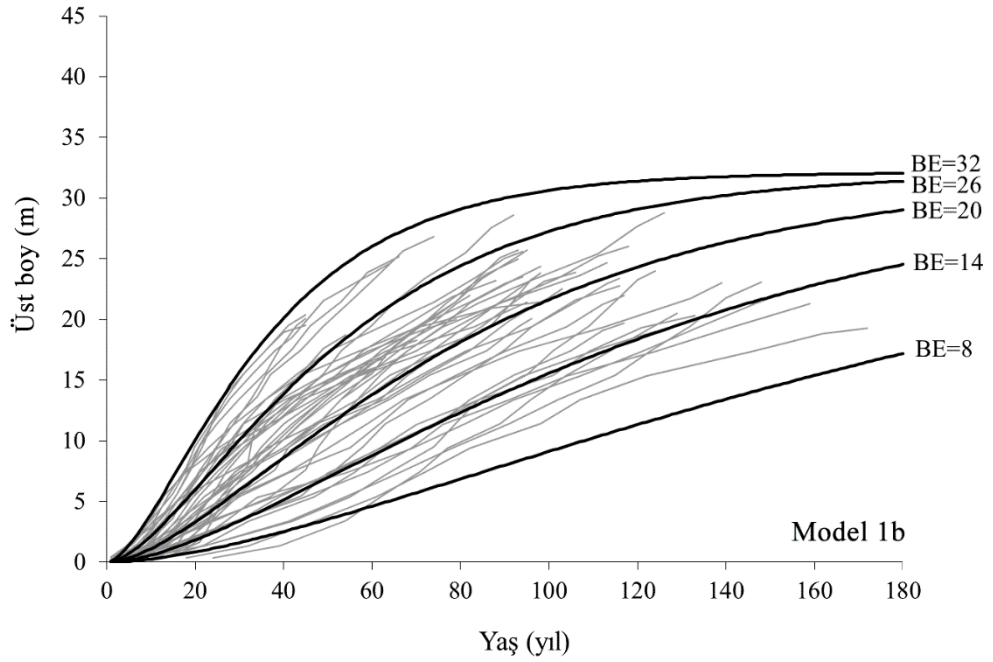


Şekil 4.22. Model 1a için standart yaşın seçimine bağlı olarak boy tahminlerinde meydana gelen nispi hatalar

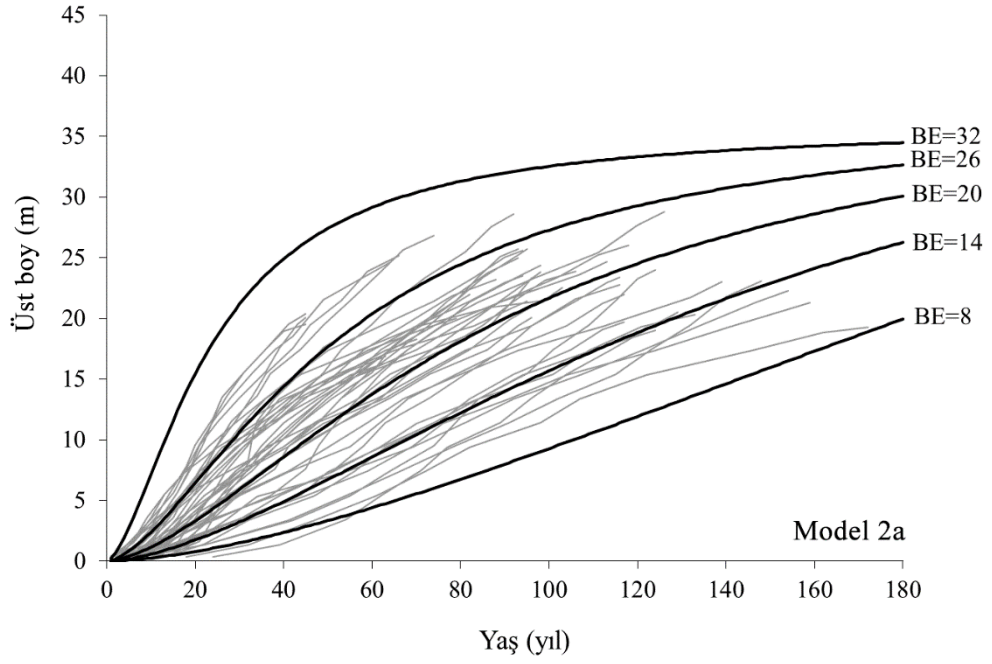
Çalışmada denenen ve başarılı bulunan modellere ilişkin bonitet endeks eğrilerinin 180 yıllık gelişimleri ve genel ortalama boy büyümesinin bonitet endekslerine göre değişimleri Şekil 4.23-30'da gösterilmiştir. Bonitet endeks modellerinin büyüme kanuniyetlerine uygunluklarının incelenmesi için 6 metre aralıklarla 5 adet bonitet sınıfı oluşturulmuş ve standart yaş 90 yıl olarak belirlenerek bonitet endeks eğrileri çizilmiştir. Farklı modeller kullanılarak geliştirilen bonitet endeksi grafikleri incelendiğinde, Şekil 4.29'de verilen modele ait grafik dışındaki tüm modeller ağaçların genel boy büyümesini oldukça iyi bir şekilde yansıtmıştır. Şekil 4.24, 25 ve 28'de grafikleri verilen modellere ilişkin grafiklerde iyi yetişme ortamları için genç yaşlarda modeller hızlı bir artış göstermiş ve daha sonra ileri yaşlar için hızlı bir şekilde azalmıştır. Şekil 4.27, 28 ve 29'da verilen modellerin genç yaşlar için genel seyri Şekil 4.23'ye benzer olmasına karşın, büyük yaşlarda daha yüksek artışlar göstermiştir.



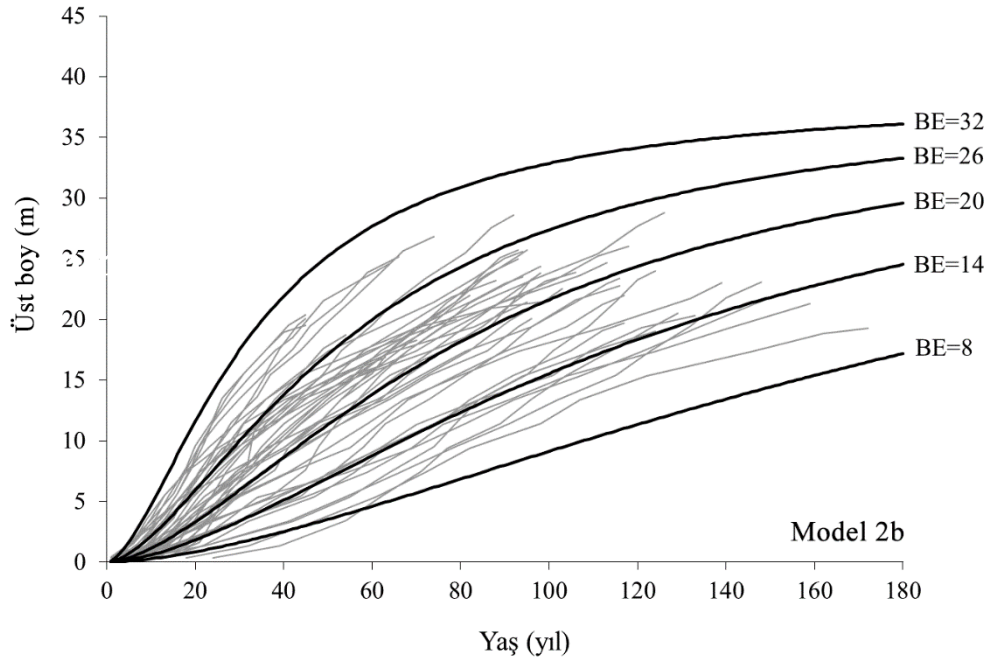
Şekil 4.23. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 1a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



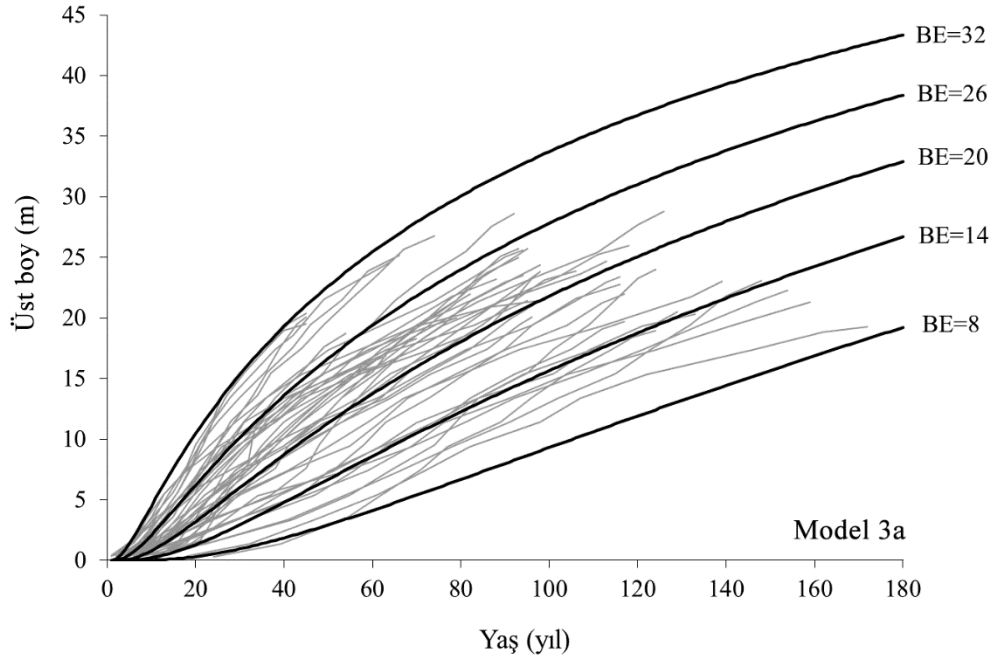
Şekil 4.24. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 1b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



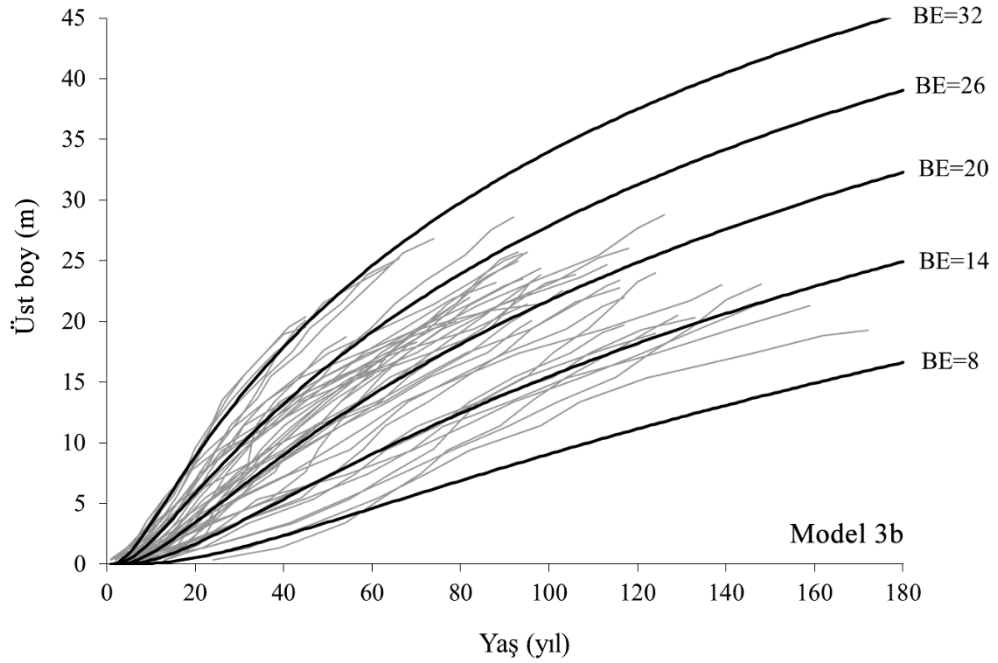
Şekil 4.25. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 2a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



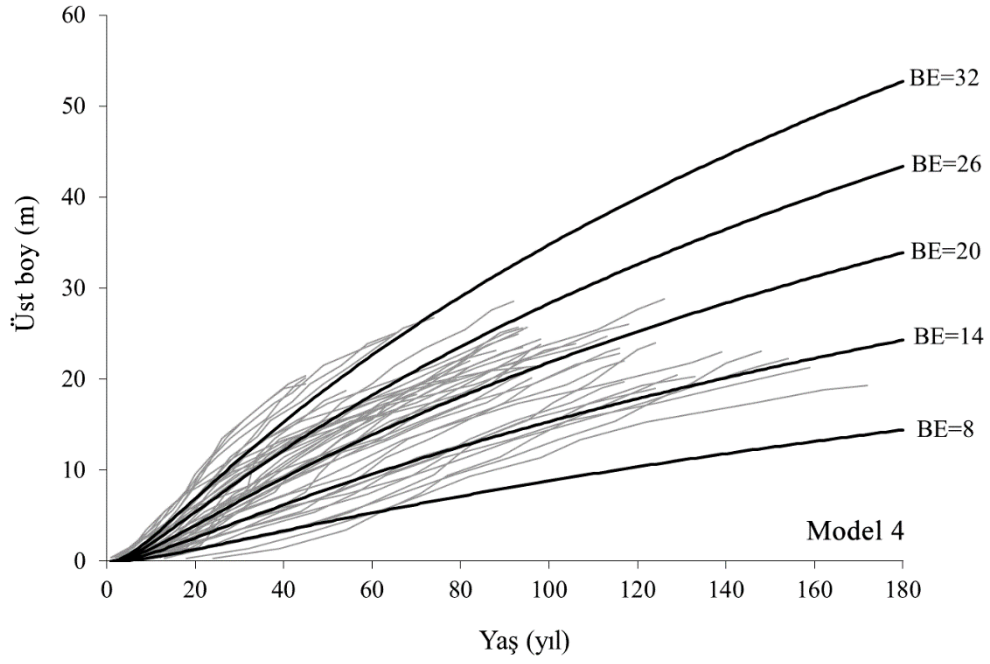
Şekil 4.26. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 2b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



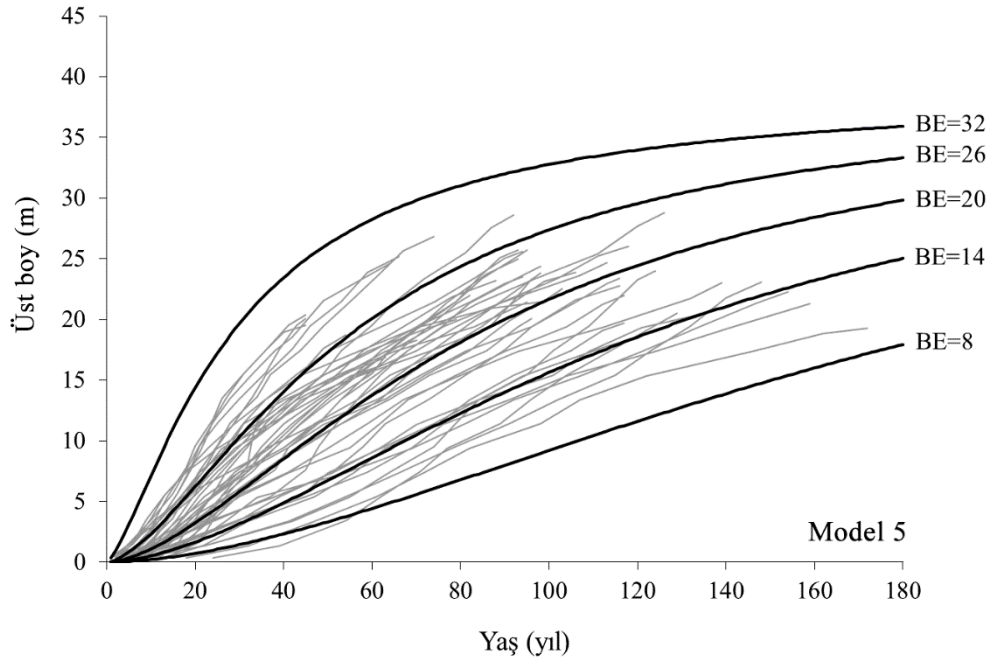
Şekil 4.27. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 3a no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



Şekil 4.28. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 3b no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



Şekil 4.29. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 4 no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)



Şekil 4.30. Doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi ile geliştirilen 5 no'lu modele ilişkin 180 yıllık gelişimi gösterir grafik (Standart yaş: 90 yıl)

Bu sonuçlar temel alındığında, iki yetiştirme ortamı bazlı parametreye sahip Chapman-Richards modelinin gerek hata istatistikleri gerekse grafiksel olarak boy büyümesini iyi şekilde tanımlıyor olmaları nedeniyle doğal Toros göknarı meşcerelerinin boy

büyüme tahminleri ve yetiştirme ortamı sınıflandırması çalışmalarında kullanılabileceği ifade edilebilir. Toros göknarı ağaçlarının başa bağlı boy tahminleri için aşağıdaki modelin kullanılması yeterli olacaktır.

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= \exp(X_0)[1 - \exp(-0.0156 t)]^{(-8.775+37.057/X_0)}, \text{ ile} \\ X_0 &= 0.5[\ln(Y_0) + 8.775 L_0 + \sqrt{(\ln(Y_0) + 8.775 L_0)^2 - 4 \times 37.057 L_0}] \\ \text{ve} \\ L_0 &= \ln[1 - \exp(-0.01156 t_0)] \end{aligned} \quad (4.2)$$

Bu formülde \hat{Y} , t yaşındaki tahmin edilen dominant boyu (m), Y_0 , t_0 yaşında ölçülen dominant boyu ve $\ln(\cdot)$ doğal logaritmayı ifade etmektedir.

Ancak burada unutulmaması gereken önemli bir nokta da çalışma kapsamında kullanılan ağaç sayısının nispeten az olması nedeniyle doğal Toros göknarı meşcereleri için referans yaşa daha doğru karar verebilmek için gözlem sayısının ya da örnek ağaç sayısının artırılarak bu çalışmaların devam ettirilmesi yararlı olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Gövde Çapı Modelleri

Bu çalışmada, Toros göknarı ağaç türü için gövde çapı ve gövde hacim modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla, Cervera (1973), Max&Burkhart (1976), Biging (1984), Kozak (1988), Clark vd., (1991), Riemer vd. (1995), Muhairwe (1999), Fang vd. (2000), Bi (2000), Lee vd., (2003), Kozak (2004) ve Sharma&Zhang (2004) tarafından geliştirilmiş toplam 12 adet model kullanılmıştır.

Gövde çapı modellerinin geliştirilmesinde karşılaşılan en önemli problemler; otokorelasyon, çoklu-bağıntı ve değişken varyans problemleridir. Bu problemlerin ortadan kaldırılmasında (otokorelasyon) ve var olup olmadığının belirlenmesinde (çoklu bağıntı); koşul sayısı ve ikinci derece otoregresif hata yapısı kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda, modellerde çoklu bağıntı probleminin önemli olmadığı ve CAR(2) ile de otokorelasyon probleminin minimuma indirildiği görülmüştür.

Çalışma kapsamında değerlendirilen modeller, çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahmin performansı bakımından test edilmiştir. Farklı değerlendirme kriterleri kullanılarak yapılan değerlendirme sonuçlarına göre; çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim olmak üzere 4 kategoride de en başarılı sonuçları veren modelin Clark vd. (1991) tarafından geliştirilmiş olan model olduğu, kalan diğer modellerinde benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte gövde çapı tahmininde en başarılı ikinci model Kozak (2004) tarafından geliştirilen model olurken, ticari boy tahminlerinde en başarılı ikinci model ise Kozak (1988) tarafından geliştirilen model olmuştur. Genel olarak en başarısız model ise Biging (1984) tarafından geliştirilen model olmuştur.

Bununla birlikte, ticari hacim tahminlerinde, en başarılı ikinci model olarak Kozak (2004) tarafından geliştirilen modeli, yine Kozak (1988) tarafından geliştirilen model üçüncü en başarılı model olarak belirlenmiştir. Toplam hacim tahminlerine bakıldığında en başarılı ikinci model Muhairwe (1999) tarafından geliştirilen model olurken, onu Kozak (1988) tarafından geliştirilen model üçüncü en başarılı model olarak izlemektedir.

Çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim tahminleri konusunda ayrı ayrı değerlendirilen modellerin genel nispi sıralama durumları incelendiğinde ise en başarılı modelin Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen model olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanında çap, boy, ticari hacim ve toplam hacim konusundaki başarı sırası genel olarak değerlendirildiğinde ise Biging (1984) tarafından geliştirilen modelin en son sırada yer aldığı görülmektedir.

Değerlendirilen modellerin söz konusu ağaç türüne olan uygunlukları da görsel olarak değerlendirilerek, modellerin çap ve boy sınıfları ile nispi boy değerleri için başarı sıraları mukayese edilmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde geliştirilen modellerin çap tahmini konusunda nispi boy değerleri için hata dağılımının anlamlı bir varyasyon göstermediği anlaşılmıştır. Geliştirilen modellerin farklı çap değerleri için değişimleri incelendiğinde ise genellikle kalın çap değerine sahip ağaçların ince çap değerine sahip olan ağaçlara göre daha büyük hata değeri ürettiği anlaşılmıştır.

Tüm bu değerlendirmeler neticesinde, geçmişten günümüze yapılan çalışmaların sonuçları da göz önünde bulundurulduğunda Toros göknarı meşcereleri için en uygun modelin Clark vd. (1991) tarafından geliştirilen model olduğu söylenebilir. Bir gövde profili modelinin tercih edilmesinde, söz konusu modelin gövde çapı tahmini kadar gövde hacim tahminlerinin de başarısı söz konusudur. Çünkü pratik ormancılık uygulamalarında, ağaçların göğüs çapının doğru bir şekilde tahmin edilmesinden ziyade hacim değerlerinin doğru tahmin edilmesi daha önemlidir. Fakat yine de belirtmek gerekirse, herhangi bir yöredeki bir ağaç türü için uygun modelin seçilmesinde benzer tahmin başarısına sahip modeller arasından tercih yapılması gerektiğinde, yöntemin pratik olarak uygulanabilmesi ve orman uygulamacılarının tercihleri de önemlidir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile elde edilen sonuçların Antalya, Burdur ve Konya yörelerindeki doğal Toros göknarı meşcereleri için uygun olduğu unutulmamalıdır. Bilindiği gibi gövde formu ve buna bağlı olarak gövde hacmi, bonitet, meşcere kapalılığı, sıklığı, meşcerelerin bugüne kadar görmüş olduğu silvikültürel müdahale şekilleri gibi pek çok etkene bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu sebeple herhangi bir gövde çapı ve gövde hacim modelinin geniş alanlarda kullanılabilmesi

için bu faktörleri de göz önünde bulunduracak şekilde uygulanması bir başka deyişle her yöre için ayrı ayrı geliştirilmesi uygun olacaktır.

5.2. Karışık Etkili Yaklaşım ile Gövde Çapı Modelleri

Bu bölümde, Toros göknarı meşcereleri için karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak parçalı gövde çapı modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla; Max ve Burkhart (1976), tarafından geliştirilmiş parçalı gövde çapı modeli kullanılmıştır. Bu model pek çok çalışmada ve pek çok ağaç türü için gövde çapı ve gövde hacim tahminlerinde kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda; tesadüfi etkili parametrelere sahip gövde çapı modelinin sadece sabit etkili parametrelere sahip modele göre daha başarılı gövde çapı tahminlerine imkân sağladığı görülmektedir. Karışık etkili modelleme tekniği ile gövde çapı modelinin geliştirilmesinde yapılması gereken önemli şeylerden birisi en uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyonunun ortaya konmasıdır. Bu çalışmada altı parametreye sahip Max ve Burkhart (1976) modelinin bir ve iki parametresi tesadüfi etkili 21 farklı kombinasyon denenmiş, bunlardan ancak 10'u için çözüm gerçekleştirilebilmiş ve en uygun tesadüfi etkili parametre kombinasyon olarak β_1 - β_3 bulunmuştur.

Karışık etkili modelleme tekniğinin geleneksel regresyon modellerine karşı en önemli üstünlüğü veri yapısında bulunan otokorelasyon sorununun ortadan kaldırılmasına imkân sağlaması ve hata varyansı dağılımını daha homojen yapabilmesidir. Bu çalışmada da karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak otokorelasyon problemi, kısmen ortadan kaldırılmış olsa da otokorelasyon probleminin varlığı görülmüştür. Otokorelasyon probleminin tamamen çözülebilmesi için karışık etkili modele, birinci derece otoregresif hata yapısı (AR(1)) eklenmiştir. Bu işlem sonucunda otokorelasyon problemi hemen hemen ortadan kaldırılmış ve hata varyansı dağılımı tüm nispi boy sınıfları için daha homojen bir yapıya dönüştürülmüştür.

Bu çalışmada bir ağaç gövde şeklinin kalibrasyonu için gövde üzerinde göğüs çapı ve ağaç boyu dışında ekstra çap değerleri kullanılarak farklı alternatifler test

edilmiştir. Çalışmada, farklı kalibrasyon alternatifleri denenmiş ve sonuçlar gövde çapı tahminleri için grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 10 farklı kalibrasyon alternatifi (ağaç boyunun %10, ..., %100'deki çap değerleri) denenmiştir. Calama ve Montero (2006), tarafından da belirtildiği gibi, günümüzde, gövde çapı veya gövde hacmi denklemlerinde, açıklayıcı bir eş değişken olarak ilave çap değerlerinin kullanımı ormancılık çalışmalarında genel bir uygulama halini almıştır. Denenen kalibrasyon alternatifleri farklı nispi boy sınıfları için hata kareler ortalaması (MSE) kriterine göre değerlendirilmiştir. Genel olarak bütün kalibrasyon alternatifleri iki ölçüt değeri içinde ortalama yanıtlardan (OLS) daha başarılı sonuçlar vermiştir.

Ancak burada belirtmek gerekir ki, kalibrasyon işlemi ile ağaç gövde şeklinin tahminindeki en önemli kısıt, dikili ağaçlar üzerinde ekstra çap ölçümlerinin gerekli olması ve bunun yerden ölçülemeyecek kadar yüksekte olmasıdır. Örneğin bu çalışmada kalibrasyon yanıtları için en doğru sonuçlar toplam ağaç boyunun %50-70'ı arasında elde edilmiştir. Bu nedenle, eğer Toros göknarı ağaçları için kalibrasyon işlemi uygulanacaksa ekstra çap değerinin gövdenin %60'ından tercih edilmesi yararlı olacaktır. Ancak bu çap değerinin ölçümü kolay değildir. Kozak (1998), tarafından da belirtildiği gibi ölçüm hataları bir modelin çap ve hacim tahminlerindeki başarısını etkileyen en önemli kriterdir. Ancak günümüzde, Cao ve Wang (2011) ve Rodríguez vd. (2014), tarafından da belirtildiği gibi, lazer teknolojisi sayesinde dikili haldeki ağaçlarda gövdenin üst kısımlarındaki çap değerlerinin ölçülmesi oldukça kolaylaşmıştır. Arias-Rodil vd. (2017) tarafından da ifade edildiği gibi kalibrasyon için ekstra çap ölçümlerinin doğru yapılması son derece önemlidir. Doğru yapılan ekstra çap ölçümleri kalibrasyon işleminin başarısı üzerine olumlu etki yapacaktır.

Bütün bu değerlendirmeler sonucunda; Toros göknarı meşcerelerinde, gövde çapı tahminleri için doğrusal olmayan karışık etkili modelleme tekniği kullanılarak başarılı çap ve hacim tahminleri yapılabileceği görülmüştür. Yeni bir ağaç ya da yer için modelin kalibrasyonu için ağaç çapı ve boyuna ilave olarak ekstra bir çap ölçülmesinin, sadece sabit etkili parametrelere sahip modele göre çap ve hacim tahminlerindeki doğruluğu önemli ölçüde arttıracacağı görülmüştür. Kalibre edilmiş modeller özellikle gövdenin %20-80'lik kısmında sabit etkili modellere göre çok

daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Bu durum, özellikle gövde hacminin büyük miktarının bu bölgede yoğunlaşmış olması nedeniyle önemlidir. Çap tahminlerindeki başarı doğrudan hacim tahminlerini etkilemektedir. Ancak, burada yine belirtmek gerekir ki, herhangi bir yörede, bir ağaç türü için uygun modelin seçilmesinde benzer tahmin başarısına sahip modeller arasından tercih yapılması gerektiğinde, yöntemin pratik olarak uygulanabilmesi ve orman yöneticilerinin tercihleri de önemlidir.

5.3. Çap-Boy Modelleri

Toros göknarı meşcereleri için geliştirilen çap-boy modellerinde; sabit etkili model, kalibre edilmiş sabit etkili model ve karışık etkili model olmak üzere toplamda 3 farklı alternatif yöntem kullanılmıştır. Öncelikle veriler tesadüfi olarak iki eşit gruba ayrılmıştır. Test edilen modeller arasında en başarılı sonuçlar Gompertz tarafından geliştirilen model ile elde edilmiştir. Kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modellerin parametreleri, daha sonra her örnek alandaki 1 ila 10 adet ağacın boyları kullanılarak kalibre edilmiştir. Sabit etkili model ile karşılaştırıldığında, kalibre edilmiş sabit etkili ve karışık etkili modeller, tüm farklı boyutlarda gerçekleştirilen kalibrasyon aşamalarında daha başarılı sonuçlar vermiştir. Değerlendirme istatistikleri incelendiğinde, ağaç boyunun tahmininde karışık etkili modelleme yaklaşımının en başarılı sonuçları verdiği görülmektedir. Fakat kalibrasyon sırasında kullanılan ağaç sayısının artırılmasının, modelin tahmin başarısına minimum düzeyde katkı sağladığı görülmektedir. Bu sebeple, 4 ağaç ile gerçekleştirilen kalibrasyonun, örnekleme maliyetleri ve tahmin başarısı arasında bir denge noktası oluşturduğu söylenebilir.

Burada üzerinde durulması gereken diğer önemli bir konuda tüm farklı modelleme yaklaşımlarına rağmen modellerin tahmin performansları arasında bariz ya da çok açık bir farklılık gözlenmemiştir. Bu durumun çap-boy modelleri geliştirmek amacıyla ölçü yapılan ağaçların farklı çap sınıfları için oldukça yüksek bir boy varyansına sahip olmalarından kaynaklandığını düşündürmektedir. Yine bu durumu ortaya çıkaran diğer bir neden olarak da arazide aynı yaşlı meşcere kuruluşuna sahip gibi görünen Toros göknarı meşcerelerindeki ağaçların bir kısmının uzun bir süre diğer ağaçların baskısı altında kaldıkları sonucunu ortaya koymaktadır.

5.4. ap Dağılım Modelleri

Pek çok araştırma çalışmasında da belirtildiği gibi, ormanların büyüme ve hasılatına ilişkin tahminlerde kullanılan en önemli yapı taşlarından birisi, çap dağılım modelleridir. Ağaç sayılarının çap basamaklarına dağılımı, amenajman planlarının düzenlenmesine temel olan büyüme ve hasılat modelleri, orman ürünleri endüstrisinin geleceğe dönük projeksiyonlarının yapılması, biyokütle ve karbon birikim miktarının hesaplanması için kullanılan önemli bir meşcere parametresidir. Bu nedenle, her ağaç türü ve türün yayılış gösterdiği farklı yetişme ortamı koşulları için meşcerelerin çap dağılım modellerinin geliştirilmesi bilimsel ve uygulamalı ormancılık çalışmaları için gereklidir.

Bu alışmada; Toros göknarı meşcereleri için çap dağılım modeli geliştirilmiştir. Bu amaçla Johnson's SB dağılımı ve parametre tahmini amaçıyla da yüzdelik (Percentile)-moment metodunu temel alan 3 parametre zm (Recovery) yöntemi kullanılmıştır. Fonseca vd. (2009) ve zelik vd (2016) tarafından da belirtildiği gibi, bu dağılım sahip olduğu iki biçim parametresi nedeniyle çok farklı dağılım Őekillerinin modellenmesine imkân vermesi ve biyolojik değişkenlerin temsil edilmesinde daha uygun olduğu için tercih edilmiştir. Yapılan pek çok alışma Johnson's SB dağılımının çap dağılımlarının tanımlanmasında oldukça başarılı sonular ürettiğini ortaya koymuştur (Kiviste vd., 2003; Mateus ve Tome, 2011; Lei, 2008; Parresol, 2003; Fonseca, 2004).

Bu amaçla Toros göknarı meşcerelerinin çap dağılımının modellenmesi amaçıyla Antalya-Akseki, Konya-Hadim, Burdur-Bucak Orman İşletmelerinden rnek alanlar alınmıştır. Bu rnek alanlardan 83 adedi çap dağılımının modellenmesi amaçıyla kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Johnson's SB dağılımı yardımı ile ortaya konan tahmini çap dağılımı değerleri ile ölçülen çap dağılımı değerleri Kolmogorov-Simirnov Testi (K-S) ve Hata (EI) değerleri yardımı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla 5 cm genişlikte çap sınıfları oluşturulmuştur. Genel olarak pek çok ağaç türü için yapılan envanter çalışmalarında bu çap genişliği tercih edilmektedir (Parresol, 2010).

Hata indeksi değerleri göğüs yüzeyinin bir ağırlık fonksiyonu olarak kullanılması ile elde edilmiştir. Çünkü daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, göğüs yüzeyi

tam bir değerdir. Hacim ya da biyokütle gibi kullanılan hacim ya da biyokütle fonksiyonuna göre değişkenlik göstermemektedir. Üstelik göğüs yüzeyi ağağlar arasındaki büyüklük farklılıklarının dikkate alınmasına da izin vermektedir (Fonseca vd., 2009; zelik vd., 2016).

Yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda Johnson's SB dağılımı yardımı ile Toros göknarı meşcerelerinin çap dağılımının oldukça başarılı bir şekilde ortaya konabildiği görülmüştür. Yine bazı meşcerelerin çap dağılımının iki modlu, bazılarının tek modlu ve bazılarının da sağa ya da sola çarpık dağılım durumları ortaya çıkmıştır. Ancak, Johnson's SB dağılımı sahip olduğu özellikleri nedeniyle tüm bu dağılımların tanımlanmasında oldukça başarılı olmuştur.

Johnson's SB dağılımının parametre çözüm yaklaşımı ile parametrelerinin tahmin edilmesinin sağladığı en önemli avantajı, büyüme ve hasılat modellerinde geleceğe ilişkin çap dağılımlarının tahmin edilmesine imkân vermesidir. Halbuki maksimum olabilirlik metodu doğrudan bu amaçla kullanılamamaktadır.

Toros göknarı ormanları uzun yıllar yaşanan tahribatlar nedeniyle oldukça farklı meşcere yapılarına sahiptir. Dolayısı ile Toros göknarı ormanlarının sürdürülebilir yönetimi için büyüme ve hasılat modellerinin en önemlilerinden biri olan ve meşcere yapılarının ortaya konmasında kullanılan çap dağılım modellerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yine Bolat (2014) tarafından belirtildiği gibi, ülkemiz ormanları, çok farklı ağaç türleri ve yetişme ortamı koşulları ile birlikte oldukça farklı meşcere yapılarına ve çap dağılım dinamiklerine sahip olup, özellikle ülkemiz ormanlarını oluşturan ağaç türlerimiz ve meşcere kuruluşları için başarılı ve etkin çap dağılım modellerinin geliştirilmesi için çap dağılımlarını en iyi temsil eden parametre tahmin yöntemlerinin belirlenmesi büyük bir önem arz etmektedir. Farklı meşcere yapılarından oluşan ormanlarımızın çap dağılımlarının modellenmesinde, en önemli eksiklik olarak, farklı yetişme ortamlarında gelişim gösteren çeşitli ağaç türlerinin oluşturduğu meşcere yapıları için, çap dağılımlarını en iyi temsil eden parametre tahmin yöntemleri belirlenmesi gerekmektedir.

Bu alışma ile Toros göknarı meşcerelerinin çok değişkenlik gösteren meşcere yapılarının yüzdelik moment yaklaşımını temel alan parametre çözüm yöntemi ve

Johnson's SB dağılım fonksiyonu yardımı ile başarılı bir şekilde ortaya konabileceği ve bu meşcere yapılarını temel alan planlama ve yönetim alternatiflerinin oluşturulabileceği görülmüştür.

5.5. Bonitet Endeks Modelleri

Bu bölümde, Toros göknarı meşcereleri için GADA ile elde edilmiş dinamik bonitet endeks modelleri geliştirilmiştir. GADA ile geliştirilen 8 ayrı modelin kullanıldığı bu çalışmada, yöntem olarak doğrusal olmayan regresyon analizi kullanılarak tahminler elde edilmiştir. Bu sırada, örnek ağaçlardan elde edilen gövde analizi verileri kullanılmıştır. Gövde analizi verileri, aynı ağaç üzerinde çok sayıda benzer ölçümler içerdiğinden önemli derecede otokorelasyon problemi ile karşılaşmıştır. Otokorelasyon problemini gidermek amacıyla, oto regresif hata yapısı kullanılmıştır. Otoresif hata yapısı uygulanarak otokorelasyonun giderilmesinin ardından, her bir model için model başarı ölçütleri kullanılarak modeller arasında bir sıralama yapılmıştır. Buna göre, Chapman-Richards tarafından geliştirilen ve çalışmada 1a şeklinde numaralandırılan bonitet endeks modeli, en başarılı model olarak belirlenmiştir ($R^2=0.9850$)

GADA yaklaşımı ile standart bir yaşa bağlı değişmezlik özelliğine sahip dinamik bonitet endeks modelleri ormancılık alanında ilk defa Cieszewski ve Bailey (2000) tarafından önerilmiştir. Ulusal literatüre bakıldığında ise bu yaklaşımın Seki ve Sakıcı (2017) tarafından kullanıldığı görülmektedir. Nispeten daha yeni olan bu yaklaşımın, ülkemiz ormancılığı tarafından benimsenmesi, yetişme ortamı verim gücünün tahmininde daha etkin sonuçlar vermesini sağlayacaktır. Bunun yanında doğrusal olmayan regresyon analiziyle geliştirilen modellerde sıklıkla ortaya çıkan otokorelasyon probleminin, otoresif hata yapısı ile giderilebilmesi de önemli bir avantaj oluşturmaktadır. Bir bölgedeki idare süresinin ve buna bağlı olarak standart yaş değerinin değişebilme ihtimalinin olduğu düşünüldüğünde, farklı standart yaşlar için tahminler sunabilen GADA modellerinin ülkemiz ormanlarındaki asli ağaç türleri için geliştirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Akdeniz bölgesinde doğal olarak yayılış gösteren ve asli orman ağaçlarımızdan biri olan Toros göknarı için geçerli dinamik bonitet endekslerinin geliştirilmesinin, ormancılık uygulamalarına önemli katkılar sağlayacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- Adame, P., Cañellas, I., Roig, S., & Del Río, M. (2006). Modelling dominant height growth and site index curves for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Annals of Forest Science*, 63 (8), 929-940.
- Adame, P., del Río, M., & Canellas, I. (2008). A mixed nonlinear height–diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management*, 256 (1-2), 88-98.
- Adamec, Z. (2015). Comparison of linear mixed effects model and generalized model of the tree height-diameter relationship. *Journal of Forest Science*, 61 (10), 439-447.
- 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.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. In *Selected Papers of Hirotugu Akaike* (pp. 215-222). Springer, New York, NY.
- Anta, M. B., & Diéguez-Aranda, U. (2005). Site quality of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Galicia (northwest Spain). *European Journal of Forest Research*, 124 (1), 19-28.
- Arabatzis, 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 Libano, 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.
- Bailey, R. L., & Clutter, J. L. (1974). Base-age invariant polymorphic site curves. *Forest Science*, 20 (2), 155-159.
- Bailey, R. L., & Dell, T. R. (1973). Quantifying diameter distributions with the Weibull function. *Forest Science*, 19 (2), 97-104.
- Anta, M. B., Diéguez-Aranda, U., Castedo-Dorado, F., González, J. G. Á., & Von Gadow, K. (2007). Merchantable volume system for pedunculate oak in northwestern Spain. *Annals of Forest Science*, 64 (5), 511-520.
- Belsey, D. A. (1991). *Conditioning diagnostics, collinearity and weak data in regression*. John Wiley and Sons, Inc., 396p. New York.

- Bennett, F. A., Lloyd, F. T., Swindel, B. F., & Whitehorne, E. W. (1978). Yields of veneer and associated products from unthinned, old-field plantations of slash pine [*Pinus elliottii*] in the north Florida and south Georgia flatwoods. *USDA Forest Service Research Paper SE (USA)*.
- Berhe, L., & Arnoldsson, G. (2008). Tree taper models for *Cupressus lusitanica* plantations in Ethiopia. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 70 (3), 193-203.
- Bi, H. (2000). Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalypts. *Forest Science*, 46 (3), 397-409.
- Bi, H., & Hamilton, F. (1998). Stem volume equations for native tree species in southern New South Wales and Victoria. *Australian Forestry*, 61 (4), 275-286.
- Bi, H., & Long, Y. (2001). Flexible taper equation for site-specific management of *Pinus radiata* in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 148 (1-3), 79-91.
- Biging, G. S. (1984). Taper equations for second-growth mixed conifers of Northern California. *Forest Science*, 30 (4), 1103-1117.
- Bohora, S. B., & Cao, Q. V. (2014). Prediction of tree diameter growth using quantile regression and mixed-effects models. *Forest ecology and management*, 319, 62-66.
- Bolat, I. (2014). The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. *European journal of forest research*, 133 (1), 131-139.
- Borders, B. E., Souter, R. A., Bailey, R. L., & Ware, K. D. (1987). Percentile-based distributions characterize forest stand tables. *Forest Science*, 33 (2), 570-576.
- Borders, B. E., Wang, M., & Zhao, D. (2008). Problems of scaling plantation plot diameter distributions to stand level. *Forest Science*, 54 (3), 349-355.
- Bozkuş, F. (1986). Toros Göknaarı (*Abies cilicica* Carr.)'nın Türkiye'deki doğal yayılış ve silvikültürel özellikleri. The natural distribution and silvicultural characteristics of *Abies cilicica* Carr. in Turkey. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*.
- Bravo-Oviedo, A., del Río, M., & Montero, G. (2007). Geographic variation and parameter assessment in generalized algebraic difference site index modelling. *Forest ecology and management*, 247 (1-3), 107-119.

- Brooks, J. R., & Harry Jr, V. (2007). Evaluating ecoregion-based height-diameter relationships of five economically important Appalachian hardwood species in West Virginia. In *In: McRoberts, Ronald E.; Reams, Gregory A.; Van Deusen, Paul C.; McWilliams, William H., eds. Proceedings of the seventh annual forest inventory and analysis symposium; October 3-6, 2005; Portland, ME. Gen. Tech. Rep. WO-77. Washington, DC: US Department of Agriculture, Forest Service: 237-242.*
- Brooks, J. R., Jiang, L., & Ozçelik, R. (2008). Compatible stem volume and taper equations for Brutian pine, Cedar of Lebanon, and Cilicica fir in Turkey. *Forest Ecology and Management, 256* (1-2), 147-151.
- Burkhart, H. E., & Tomé, M. (2012). Indices of individual-tree competition. In *Modeling Forest Trees and Stands* (pp. 201-232). Springer, Dordrecht.
- 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. (1997). A method to distribute mortality in diameter distribution models. *Forest science, 43* (3), 435-442.
- Cao, Q. V. (2009). Calibrating a segmented taper equation with two diameter measurements. *Southern Journal of Applied Forestry, 33* (2), 58-61.
- Cao, Q. V., & Wang, J. (2011). Calibrating fixed-and mixed-effects taper equations. *Forest ecology and management, 262* (4), 671-673.
- Cao, Q. V., Burkhart, H. E., & Max, T. A. (1980). Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science, 26* (1), 71-80.
- Cao, Q. V., Yao, F., & Wu, Q. (2010). Effects of sample size on characterization of wood-particle length distribution. *Wood and Fiber Science, 42* (1), 46-50.
- Carmean, W. H. (1972). Site index curves for upland oaks in the Central States. *Forest Science, 18* (2), 109-120.
- Carmean, W. H., & Lenthall, D. J. (1989). Height-growth and site-index curves for jack pine in north central Ontario. *Canadian Journal of Forest Research, 19* (2), 215-224.
- Carus, S. (1998). *Aynı Yaşlı Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky) Ormanlarında Artım ve Büyüme*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)

- Carus, S. and Çatal, Y., 2007. The Distribution To The Months In The Vegetation Period Of Annual Diameter And Height Increment On Taurus Cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) And Stone Pine (*Pinus pinea* L.). *Turkish Journal of Forestry*, 2, 61-77.
- Carvalho, J. P., & Parresol, B. R. (2005). A site model for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) stands using a dynamic algebraic difference equation. *Canadian journal of forest research*, 35 (1), 93-99.
- Castaño-Santamaría, J., Crecente-Campo, F., Fernández-Martínez, J. L., Barrio-Anta, M., & Obeso, J. R. (2013). Tree height prediction approaches for uneven-aged beech forests in northwestern Spain. *Forest ecology and management*, 307, 63-73.
- Cervera, J. M. (1973). El área basimétrica reducida, el volumen reducido y el perfil. *Montes*, 174, 415-418.
- Chapman, D. G. (1961). *Statistical problems in dynamics of exploited fisheries populations*. In Proceedings of the Fourth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Vol. IV, J. Neyman (ed.), 153-168. Berkeley: University of California Press.
- Cieszewski, C. J. (2000). Analytical site index solution for the generalized log-logistic height equation. *Forest science*, 46 (2), 291-296.
- Cieszewski, C. J., & Bailey, R. L. (2000). Generalized algebraic difference approach: theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. *Forest Science*, 46 (1), 116-126.
- Cieszewski, C. J., Bailey, R. L., Borders, B. E., Brister, G. H., & Shiver, B. D. (2000). Base-age invariance and inventory projections. In: Hansen, Mark; Burk, Tom, eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: US Department of Agriculture, Forest Service, *North Central Forest Experiment Station*. 212, 481-493.
- Cieszewski, C. J., Strub, M., & Zasada, M. (2007). New dynamic site equation that fits best the Schwappach data for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Central Europe. *Forest ecology and management*, 243 (1), 83-93.
- Clark, A., Souter, R. A., & Schlaegel, B. E. (1991). Stem profile equations for southern tree species. *Research paper SE* (USA).
- Clutter, J. L. (1980). Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. *Forest Science*, 26 (1), 117-120.
- Clutter, J. L., & Belcher, D. M. (1978). *Yield of site-prepared slash pine plantations in the lower coastal plain of Georgia and Florida*. FWS-Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources.

- Clutter, J. L., & Bennett, F. A. (1965). *Diameter distributions in old-field slash pine plantations*. Georgia Forest Research Council.
- Clutter, J. L., Fortson, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. (1983). *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Coble, D. W., & Hilpp, K. (2006). Compatible cubic-foot stem volume and upper-stem diameter equations for semi-intensive plantation grown loblolly pine trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 30 (3), 132-141.
- Coble, D. W., & Lee, Y. J. (2011). A Mixed-Effects Height—Diameter Model for Individual Loblolly and Slash Pine Trees in East Texas. *Southern Journal of Applied Forestry*, 35 (1), 12-17.
- Coble, D. W., & Wiant Jr, H. V. (2000). Centroid method: comparison of simple and complex proxy tree taper functions. *Forest science*, 46 (4), 473-477.
- Corral-Rivas, J. J. C., González, J. G. Á., González, A. D. R., & Von Gadow, K. (2004). Compatible height and site index models for five pine species in El Salto, Durango (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 201 (2-3), 145-160.
- Corral-Rivas, J.J., Barrio-Anta, M., Aguirre-Calderon, O.A., Dieguez-Aranda, U., 2007. Use of stump diameter to estimate diameter at breast height and tree volume for major pine species in El Salto Durango (Mexico). *Forestry*, 80, 29-40.
- Crecente-Campo, F., Alboreca, A. R., & Diéguez-Aranda, U. (2009). A merchantable volume system for *Pinus sylvestris* L. in the major mountain ranges of Spain. *Annals of forest science*, 66 (8), 808.
- 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 second-growth Douglas-fir. *Forest science*, 13 (4), 365-375.
- Czaplewski, R. L., & McClure, J. P. (1988). Conditioning a segmented stem profile model for two diameter measurements. *Forest Science*, 34 (2), 512-522.
- Czaplewski, R. L., Brown, A. S., & Guenther, D. G. (1989). Estimating merchantable tree volume in Oregon and Washington using stem profile models. *Res. Pap. RM-RP-286. Fort Collins, CO: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 15 p., 286.*

- Çapar, C. (2013). *Antalya yöresi kızılçam meşçereleri için doğrusal olmayan karışık etkili modeller yardımı ile çap-boy denklemlerinin geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çatal, Y. (2009). *Batı Akdeniz Bölgesi Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşçerelerinde Artım ve Büyüme*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Çatal, Y., & Güneş, A. (2018). Antalya yöresi ormanları için titrek kavak ağaç hacim tablolarının düzenlenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 19 (1), 30-39.
- Çatal, Y., & Güneş, S. (2016). Isparta yöresi kızılçam meşçerelerinde çap dağılımının örnek alan ağaç sayısına göre modellenmesi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 17 (2), 166-173.
- Demaerschalk, J. P. (1972). Converting volume equations to compatible taper equations. *Forest Science*, 18 (3), 241-245.
- Demaerschalk, J. P. (1973). Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. *Canadian Journal of Forest Research*, 3 (1), 90-94.
- De-Miguel, S., Mehtätalo, 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.
- Diamantopoulou, M. J., & Özçelik, R. (2012). Evaluation of different modeling approaches for total tree-height estimation in Mediterranean Region of Turkey. *Forest Systems*, 21 (3), 383-397.
- Diamantopoulou, M. J., Özçelik, R., Crecente-Campo, F., & Eler, Ü. (2015). Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods. *Biosystems Engineering*, 133, 33-45.
- Diéguez-Aranda, U., Barrio, M., Castedo, F., & Álvarez, J. G. (2005). Relación altura-diámetro generalizada para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 14 (2), 229-241.
- 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.
- Dorado, F. C., Diéguez-Aranda, U., Anta, M. B., Rodríguez, M. S., & von Gadow, K. (2006). A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain. *Forest Ecology and Management*, 229 (1-3), 202-213.

- Durkaya, B. (2004). *Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam (Pinus sylvestris L.)-Uludağ Göknarı (Abies bormülleriana Mattf.)-Doğu Kayını (Fagus orientalis Lipsky) Karışık Meşcerelerinde Artım-Büyüme İlişkileri*. (Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ercanlı, İ. (2010). *Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri Sınırları İçerisinde Yer Alan Doğu Ladini (Picea orientalis (L.) Link)-Sarıçam (Pinus sylvestris L.) Karışık Meşcerelerine İlişkin Büyüme Modelleri*. (Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Ercanlı, İ., Kahriman, A., 2013. *Trabzon ve Giresun Orman Bölge Müdürlükleri sınırları içerisinde yer alan doğu ladini (Picea orientalis (L.) Link) ve Sarıçam (Pinus sylvestris L.) karışık meşcereleri için gövde çapı ve gövde hacim denklmelerinin karışık etkili modelleme yaklaşımı ile geliştirilmesi*. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 613-621, Antalya.
- Ercanlı, I. (2015). Nonlinear mixed effect models for predicting relationships between total height and diameter of oriental beech trees in Kestel, Turkey. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 21 (2), 185-202.
- Ercanlı, I., Gunlu, A., & Başkent, E. Z. (2015). Mixed effect models for predicting breast height diameter from stump diameter of Oriental beech in Göldağ. *Scientia Agricola*, 72 (3), 245-251.
- Ercanlı, I., Kahriman, A., & Yavuz, H. (2014). Dynamic base-age invariant site index models based on generalized algebraic difference approach for mixed Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38 (1), 134-147.
- Fabbio, G., Frattegiani, M., & Manetti, M. C. (1994). Height estimation in stem analysis using second differences. *Forest science*, 40 (2), 329-340.
- Fang, Z., & Bailey, R. L. (1998). Height–diameter models for tropical forests on Hainan Island in southern China. *Forest ecology and management*, 110 (1-3), 315-327.
- Fang, Z., & Bailey, R. L. (2001). Nonlinear mixed effects modeling for slash pine dominant height growth following intensive silvicultural treatments. *Forest science*, 47 (3), 287-300.
- 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.
- Farrar Jr, R. M., & Murphy, P. A. (1988). A versatile volume-defining function for natural loblolly pine trees. *USDA Forest Service research paper SO-Southern Forest Experiment Station (USA)*. no. 243.

- Figueiredo-Filho, A., Borders, B. E., & Hitch, K. L. (1996). Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 83 (1-2), 39-46.
- Filho, A. F., & Schaaf, L. B. (1999). Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). *Canadian journal of forest research*, 29 (4), 451-461.
- Fonseca, T. D. J. F., Tomé, M., & Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. (2004). *Modelação do crescimento, mortalidade e distribuição diamétrica, do pinhal bravo no Vale do Tâmega*. (PhD Thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro)
- Fonseca, T. F., Marques, C. P., & Parresol, B. R. (2009). Describing Maritime pine diameter distributions with Johnson's S_B distribution using a new all-parameter recovery approach. *Forest Science*, 55 (4), 367-373.
- Fonweban, J., Gardiner, B., Macdonald, E., & Auty, D. (2011). Taper functions for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) in northern Britain. *Forestry*, 84 (1), 49-60.
- Furtado, A. X. (2006). *Modelação da estrutura dinâmica de povoamentos de Eucalyptus globulus em primeira rotação*. (PhD Thesis, Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade Nova de Lisboa).
- Gadow, K. (1983). Fitting distributions in *Pinus patula* stands. *South African Forestry Journal*, 126 (1), 20-29.
- Gadow, K.V. ve Hui, G.Y. (1999). *Modelling Forest Development*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Garber, S. M., & Maguire, D. A. (2003). Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management*, 179 (1-3), 507-522.
- Goelz, J. C. G., & Burk, T. E. (1996). Measurement error causes bias in site index equations. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 (9), 1585-1593.
- Gomat, H. Y., Deleporte, P., Moukini, R., Mialounguila, G., Ognouabi, N., Saya, A. R., & Saint-Andre, L. (2011). What factors influence the stem taper of Eucalyptus: growth, environmental conditions, or genetics? *Annals of forest science*, 68 (1), 109-120.
- 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., Castedo-Dorado, 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-Biogeosciences and Forestry*, 9 (1), 72.
- Gordon, A. (1983). Comparison of compatible polynomial taper equations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 13 (2), 146-158.
- Gorgoso, J. J., González, J. Á., Rojo, A., & Grandas-Arias, J. A. (2007). Modelling diameter distributions of *Betula alba* L. stands in northwest Spain with the two-parameter Weibull function. *Forest Systems*, 16 (2), 113-123.
- Gorgoso, J. J., Rojo, A., Cámara-Obregón, A., & Diéguez-Aranda, U. (2012). A comparison of estimation methods for fitting Weibull, Johnson's S_B and beta functions to *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris* stands in northwest Spain. *Forest systems*, 21 (3), 446-459.
- Green, E. J., & Reed, D. D. (1985). Compatible tree volume and taper functions for pitch pine. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2 (1), 14-16.
- Grégoire, T. G., Schabenberger, O., & Barrett, J. P. (1995). Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements. *Canadian Journal of Forest Research*, 25 (1), 137-156.
- Güneş, S. (2015). *Isparta yöresi kızılçam meşcerelerinde çap dağılımının örnek nokta ağaç sayısına göre modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Hafley, W. L., & Schreuder, H. T. (1977). Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 7 (3), 481-487.
- Heidarsson, L., & Pukkala, T. (2011). Taper functions for lodegepole pine (*Pinus contorta*) and Siberan larch (*Larix siberica*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, (24), 3-11.
- Huang, S., Price, D., Morgan, D., & Peck, K. (2000). Kozak's variable-exponent taper equation regionalized for white spruce in Alberta. *Western Journal of Applied Forestry*, 15 (2), 75-85.
- 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 mixedwoods. *Forest ecology and management*, 258 (7), 1235-1247.
- İyit, N. (2008). *İlişkili veri analizinde lineer karma modellerin yapılandırılması* (Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- 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.
- Jiang, L. 2004. *Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia*. (PhD Thesis, West Virginia University, Morgantown)
- Jiang, L., Brooks, J. R., & Hobbs, G. R. (2007). Using crown ratio in yellow-poplar compatible taper and volume equations. *Northern Journal of Applied Forestry*, 24 (4), 271-275.
- Jiang, L., Brooks, J. R., & Wang, J. (2005). Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest ecology and management*, 213 (1-3), 399-409.
- Johnson, N. L. (1949). Systems of frequency curves generated by methods of translation. *Biometrika*, 36 (1/2), 149-176.
- Johnson, N. L., Kotz, S., & Balakrishnan, N. (1970). *Continuous univariate distributions* (pp. 166-193). Boston: Houghton Mifflin.
- Kahriman, A., Sönmez, T., & Gadov, K. V. (2018). Site index models for Calabrian pine in the central Mediterranean region of Turkey. *Journal of sustainable forestry*, 37 (5), 459-474.
- Karakaş, R. (2013). *Önsen doğal Fıstıkçamı (Pinus pinea L.) meşcerelerinde çap dağılımlarının modellenmesi* (Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Kitikidou, K., Petrou, P., & Milios, E. (2012). Dominant height growth and site index curves for Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in central Cyprus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2), 1323-1329.
- Kiviste, A., Nilson, A., Hordo, M., & Merenäkk, M. (2003). Diameter distribution models and height-diameter equations for Estonian forests. *Modelling forest systems*, 169-179.

- Klos, R. J., Wang, G. G., Dang, Q. L., & East, E. W. (2007). Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *Western Journal of Applied Forestry*, 22 (3), 163-170.
- Kozak, A. (1988). A variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, 18 (11), 1363-1368.
- Kozak, A. (1997). Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions. *Canadian Journal of Forest Research*, 27 (5), 619-629.
- 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.
- Kozak, A., Munro, D.O., Smith, J.H.G., 1969. Taper Functions and Their Application in Forest Inventory. *Forestry Chronicle*, 45, 278-283.
- Lappi, J. (1997). A longitudinal analysis of height/diameter curves. *Forest science*, 43 (4), 555-570.
- Lappi, J., & Bailey, R. L. (1987). Estimation of the diameter increment function or other tree relations using angle-count samples. *Forest Science*, 33 (3), 725-739.
- 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, 16s. Corvallis, Oregon.
- Lauer, D. K., & Kush, J. S. (2010). Dynamic site index equation for thinned stands of even-aged natural longleaf pine. *Southern Journal of Applied Forestry*, 34 (1), 28-37.
- 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, X., Peng, C., Wang, H., & Zhou, X. (2009). Individual height–diameter models for young black spruce (*Picea mariana*) and jack pine (*Pinus banksiana*) plantations in New Brunswick, Canada. *The Forestry Chronicle*, 85 (1), 43-56.
- Lei, Y. (2008). Evaluation of three methods for estimating the Weibull distribution parameters of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*). *Journal of Forest Science*, 54 (12), 566-571.

- Leites, L., Robinson, A., 2004. Improving taper equations of loblolly pine with crown dimensions in a mixed-effects modeling framework. *Forest Science*, 50 (2), 204-212.
- Lejeune, G., Ung, C. H., Fortin, M., Guo, X. J., Lambert, M. C., & Ruel, J. C. (2009). A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce. *European journal of forest research*, 128 (5), 505-513.
- LeMay, V.M., Kozak, A., Muhairwe, C.K., Kozak, R.A., 1993. *Factors effecting the performance of Kozak's (1988) variable-exponent taper function*. Proceedings, IUFRO Conference (S 4.02, Forest Resources Inventory) and Society of American Foresters on Modern Methods of Estimating Tree and Log Volume, 14-16 June 1993, Morgantown, W. Va. Proc. 34-53.
- Lenhart, J. D. (1972). Predicting Survival of Unthinned, Old-Field Loblolly Pine Plantations. *Journal of Forestry*, 70 (12), 754-755.
- Lenhart, J. D., & Clutter, J. L. (1971). *Cubic-foot yield tables for old-field loblolly pine plantations in the Georgia Piedmont*. Ga Forest Resource Council Report.
- Lhotka, J. M. (2012). Height-diameter relationships in sweetgum (*Liquidambar styraciflua*)-dominated stands. *Southern Journal of Applied Forestry*, 36 (2), 98-106.
- Li, Q., Yang, Y., Jia, Z., & Guan, Z. (2007). Experimental investigation of the effect of processing parameters on the formation of electrospun polyethylene oxide nanofibers. *Gaodianya Jishu/High Voltage Engineering*, 33 (2), 186-189.
- Li, R., Weiskittel, A., Dick, A. R., Kershaw Jr, J. A., & Seymour, R. S. (2012). Regional stem taper equations for eleven conifer species in the Acadian region of North America: development and assessment. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29 (1), 5-14.
- Li, R., Weiskittel, A.R., 2010. Estimating and predicting bark thickness for seven conifer species in the Acadian Region of North America using a mixed-effects modeling approach: comparison of model forms and subsampling strategies. *European Journal of Forest Research*, 130, 219-233.
- Lindstrom, M. J., & Bates, D. M. (1990). Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. *Biometrics*, 673-687.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., Schabenberger, O., 2006. *SAS for mixed models*. 2nd edition. SAS Institute Inc.
- Lumbres, R. I. C., Abino, A. C., Pampolina, N. M., Calora, F. G., & Lee, Y. J. (2016). Comparison of stem taper models for the four tropical tree species in Mount Makiling, Philippines. *Journal of Mountain Science*, 13 (3), 536-545.

- Maltamo, M., Puumalainen, J., & Päivinen, R. (1995). Comparison of beta and Weibull functions for modelling basal area diameter distribution in stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10 (1-4), 284-295.
- Martin, A. J. (1981). *Taper and volume equations for selected Appalachian hardwood species*. Research Paper. NE-490. Broomall, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 22p., 490.
- Mateus, A., & Tomé, M. (2011). Modelling the diameter distribution of eucalyptus plantations with Johnson's S_B probability density function: parameters recovery from a compatible system of equations to predict stand variables. *Annals of Forest Science*, 68 (2), 325-335.
- Max, T. A., & Burkhart, H. E. (1976). Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, 22 (3), 283-289.
- McClure, J. P., & Czaplowski, R. L. (1986). Compatible taper equation for loblolly pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 16 (6), 1272-1277.
- McGee, C. E., & Della-Bianca, L. (1967). *Diameter distributions in natural yellow-poplar stands*. Research Paper. SE-25. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 10 p., 25.
- Mehtätalo, L. (2004). A longitudinal height–diameter model for Norway spruce in Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (1), 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., Vanderschaaf, C. L., Yang, Y., & Trincado, G. (2012). Accounting for serial correlation and its impact on forecasting ability of a fixed-and mixed-effects basal area model: a case study. *European journal of forest research*, 131 (3), 541-552.
- Meng, S. X., Huang, S., Yang, Y., Trincado, G., & VanderSchaaf, C. L. (2009). Evaluation of population-averaged and subject-specific approaches for modeling the dominant or codominant height of lodgepole pine trees. *Canadian journal of forest research*, 39 (6), 1148-1158.
- Meydan-Aktürk, G. (2006). *Doğu Ladini (Picea orientalis (L.) Link) için Trigonometrik Gövde Profili Denkleminin Oluşturulması*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Monserud, R. A. (1981). Estimating truncated tree volumes with the Behre hyperboloid and existing total volume equations. *Forest Science*, 27 (2), 253-265.

- Muhairwe, C. K. (1994). Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 24 (9), 1904-1913.
- Muhairwe, C. K. (1999). Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. *Forest Ecology and Management*, 113 (2-3), 251-269.
- Myers, R.H., 1990. *Classical and modern regression with applications*. 2nd edition. Duxbury Press, 488p. Belmont, California.
- Nelson, T. C. (1964). Diameter distribution and growth of loblolly pine. *Forest Science*, 10 (1), 105-114.
- Nepal, S. K., & Somers, G. L. (1992). A generalized approach to stand table projection. *Forest Science*, 38 (1), 120-133.
- Newberry, J. D., & Burk, T. E. (1985). S_B distribution-based models for individual tree merchantable volume-total volume ratios. *Forest science*, 31 (2), 389-398.
- Newberry, J. D., Burkhart, H. E., & Amateis, R. L. (1989). Individual tree merchantable volume to total volume ratios based on geometric solids. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 (5), 679-683.
- Newnham, R. M. (1992). Variable-form taper functions for four Alberta tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 (2), 210-223.
- Newnham, R.M., 1988. *A Variable form Taper Function*. Information Report PI-X-83. Forestry, 33p. Canada.
- Newton, P. F., & Amponsah, I. G. (2007). Comparative evaluation of five height–diameter models developed for black spruce and jack pine stand-types in terms of goodness-of-fit, lack-of-fit and predictive ability. *Forest Ecology and Management*, 247 (1-3), 149-166.
- Nord-Larsen, T. (2006). Developing dynamic site index curves for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in Denmark. *Forest Science*, 52 (2), 173-181.
- 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., & Bal, C. (2013). Effects of adding crown variables in stem taper and volume predictions for black pine. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37 (2), 231-242.
- Özçelik, R., & Brooks, J. R. (2012). Compatible volume and taper models for economically important tree species of Turkey. *Annals of Forest Science*, 69 (1), 105-118.

- Özçelik, R., & Crecente-Campo, F. (2016). Stem Taper Equations for Estimating Merchantable Volume of Lebanon Cedar Trees in the Taurus Mountains, Southern Turkey. *Forest Science*, 62 (1), 78.
- Özçelik, R., Brooks, J. R., & Jiang, L. (2011). Modeling stem profile of Lebanon cedar, Brutian pine, and Cilicica fir in Southern Turkey using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Research*, 130 (4), 613-621.
- Özçelik, R., Cao, Q. V., Trincado, G., & Göçer, 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., 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., Fidalgo Fonseca, T. J., Parresol, B. R., & Eler, Ü. (2016). Modeling the Diameter Distributions of Brutian Pine Stands Using Johnson's S_B Distribution. *Forest Science*, 62 (6), 587-593.
- Palahí, M., Pukkala, T., & Trasobares, A. (2006). Modelling the diameter distribution of *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* and *Pinus halepensis* forest stands in Catalonia using the truncated Weibull function. *Forestry*, 79 (5), 553-562.
- Palahí, M., Pukkala, T., Blasco, E., & Trasobares, A. (2007). Comparison of beta, Johnson's S_B , Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain). *European Journal of Forest Research*, 126 (4), 563-571.
- Palahí, M., Tomé, M., Pukkala, T., Trasobares, A., & Montero, G. (2004). Site index model for *Pinus sylvestris* in north-east Spain. *Forest Ecology and Management*, 187 (1), 35-47.
- Parresol, B. R. (1992). Baldcypress height–diameter equations and their prediction confidence intervals. *Canadian journal of forest research*, 22 (9), 1429-1434.
- Parresol, B. R. (2003). *Recovering Parameters of Johnson's S_B Distribution*. Research Paper. SRS-31. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 9p., 31.
- Parresol, B. R., Fonseca, T. F., & Marques, C. P. (2010). *Numerical details and SAS programs for parameter recovery of the S_B distribution*. General Technical Report. SRS–122. Asheville, NC: US Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 27p., 122, 1-27.

- Parresol, B. R., Hotvedt, J. E., & Cao, Q. V. (1987). A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Forest Research*, 17 (3), 250-259.
- Payandeh, B., & Wang, Y. (1994). Relative accuracy of a new base-age invariant site index model. *Forest Science*, 40 (2), 341-348.
- 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.
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). *Mixed-effects models in S and S-Plus.*(Springer-Verlag: New York). Mixed-effects models in S and S-Plus. Springer Verlag, New York.
- Pompa García, M., Corral Rivas, J. J., Díaz Vásquez, M. A., & Martínez Salvador, M. (2009). Función de ahusamiento y volumen compatible para *Pinus arizonica* Engelm. en el suroeste de Chihuahua. *Ciencia forestal en México*, 34 (105), 117-134.
- Poudel, K. P., & Cao, Q. V. (2013). Evaluation of methods to predict Weibull parameters for characterizing diameter distributions. *Forest Science*, 59 (2), 243-252.
- Quinonez-Barraza, G., De los Santos-Posadas, H. M., Alvarez-Gonzalez, J. G., & Velazquez-Martinez, A. (2014). Compatible taper and merchantable volume system for major pine species in Durango, Mexico. *Agrociencia (Montecillo)*, 48 (5), 553-567.
- R Core Team., 2013. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from <http://www.r-project.org/> [17 April 2017].
- Reed, D. D., & Green, E. J. (1984). Compatible stem taper and volume ratio equations. *Forest Science*, 30 (4), 977-990.
- Reynolds, M. R., Burk, T. E., & Huang, W. C. (1988). Goodness-of-fit tests and model selection procedures for diameter distribution models. *Forest science*, 34 (2), 373-399.
- Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10, 290-300.
- Riemer, T., Gadow, K. V., & Sloboda, B. (1995). Ein Modell zur Beschreibung von Baumschäften. *Allg. Forst-und J.-Ztg*, 166 (7), 144-147.

- Robinson, A. P., & Wykoff, W. R. (2004). Imputing missing height measures using a mixed-effects modeling strategy. *Canadian Journal of Forest Research*, 34 (12), 2492-2500.
- Rodriguez, F., Lizarralde, I., Fernández-Landa, A., & Condés, S. (2014). Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. *European journal of forest research*, 133 (2), 213-223.
- Rojo, A., Perales, X., Sánchez-Rodríguez, F., Álvarez-González, J. G., & Von Gadow, K. (2005). Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). *European Journal of Forest Research*, 124 (3), 177-186.
- 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.
- Saint-André, L., Laclau, J. P., Bouillet, J. P., Deleporte, P., Miabala, A., Ognouabi, N. & Moukini, R. (2002, September). *Integrative modelling approach to assess the sustainability of the eucalyptus plantations in Congo*. In Fourth workshop, IUFRO Working Party S (Vol. 5, pp. 8-15).
- Sakıcı, O. (2002). *Kastamonu Yöresi Uludağ Göknarı meşcerelerinde gövde profili, hacim, hacim oran sistemlerinin geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Sakıcı, O. E., & Gülsunar, M. (2012). Diameter distribution of Bornmullerian fir in mixed stands. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 12 (3), 263-270.
- Sakıcı, O. E., & Özdemir, G. (2018). Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed oriental beech and Kazdağı fir stands in Karabük region, Turkey. *Cerne*, 24 (4), 439-451.
- Sakıcı, O. E., Misir, N., Yavuz, H., & Misir, M. (2008). Stem taper functions for *Abies nordmanniana* subsp. *bornmulleriana* in Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 (6), 522-533.
- Sánchez-González, M., Cañellas, I., & Montero, G. (2007). Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. *Forest Systems*, 16 (1), 76-88.
- Sánchez-González, M., Cañellas, I., & Montero, G. (2008). Base-age invariant cork growth model for Spanish cork oak (*Quercus suber* L.) forests. *European Journal of Forest Research*, 127 (3), 173-182.
- SAS, I. (2013). *Base SAS 9.4 procedures guide: statistical procedures*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.

- Schabenberger, O., & Pierce, F. J. (2001). *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. CRC press.
- Schreuder, H. T., Hafley, W. L., & Bennett, F. A. (1979). Yield prediction for unthinned natural slash pine stands. *Forest Science*, 25 (1), 25-30.
- Schröder, T., Costa, E. A., Valério, A. F., & dos Santos Lisboa, G. (2014). Taper equations for *Pinus elliottii* Engelm. in southern Paraná, Brazil. *Forest Science*, 61 (2), 311-319.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6 (2), 461-464.
- Scolforo, J. R. S., & Thierschi, A. (1998). Estimativas e testes da distribuição de frequência diâométrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição S_B , por diferentes métodos de ajuste. *Scientia Forestalis*, 54 (93-106).
- Scolforo, J. R. S., Tabai, F. C. V., de Macedo, R. L. G., Acerbi Jr, F. W., & de Assis, A. L. (2003). S_B distribution's accuracy to represent the diameter distribution of *Pinus taeda*, through five fitting methods. *Forest ecology and management*, 175 (1-3), 489-496.
- Seki, M. (2015). *Taşköprü Orman İşletme Müdürlüğü karaçam meşcereleri için dinamik bonitet endeks modellerinin geliştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Seki, M., & Sakici, O. E. (2017). Dominant height growth and dynamic site index models for Crimean pine in the Kastamonu–Taşköprü region of Turkey. *Canadian Journal of Forest Research*, 47 (11), 1441-1449.
- 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 (3), 187-198.
- Sharma, M., & Parton, J. (2009). Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest science*, 55 (3), 268-282.
- Sharma, M., & Zhang, S. Y. (2004). Variable-exponent taper equations for jack pine, black spruce, and balsam fir in eastern Canada. *Forest ecology and management*, 198 (1-3), 39-53.

- Siipilehto, J., & Siitonen, J. Degree of previous cutting in explaining the differences in diameter distributions between mature managed and natural Norway spruce forests. *Silva Fennica*, 38 (4), 425-435.
- Soares, P., & Tomé, M. (2002). Height–diameter equation for first rotation eucalypt plantations in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 166 (1-3), 99-109.
- Solomon, D. S., Droessler, T. D., & Lemin, R. C. (1989). Segmented quadratic taper equations for spruce and fir in the Northeast. *Northern Journal of Applied Forestry*, 6 (3), 123-126.
- Şenyurt, M., Ercanlı, İ., & Saraçoğlu, Ö. (2014). *Batı Karadeniz Yöresi Sarıçam meşcereleri için uyumlu Gövde çapı ve Gövde hacim denklemlerinin karışık etkili modelleme ile Geliştirilmesi*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Antalya, 601-607.
- Tasissa, G., & Burkhart, H. E. (1998). An application of mixed effects analysis to modeling thinning effects on stem profile of loblolly pine. *Forest ecology and management*, 103 (1), 87-101.
- 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.
- Tham, A. (1988). *Estimate and test frequency distributions with the Johnson S_B function from stand parameters in young mixed stands after different thinning treatments*. USDA Forest Service general technical report NC-North Central Forest Experiment Station (USA).
- Trincado, G., & Burkhart, H. E. (2006). A generalized approach for modeling and localizing stem profile curves. *Forest Science*, 52 (6), 670-682.
- Trincado, G., Gadow, K. V., & Tewari, V. P. (1996). Comparison of three stem profile equations for *Quercus robur* L. *South African Forestry Journal*, 177 (1), 23-29.
- 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.
- Vanderschaaf, C. L. (2008). *Stand level height-diameter mixed effects models: parameters fitted using loblolly pine but calibrated for sweetgum*. In In: Jacobs, Douglass F.; Michler, Charles H., eds. 2008. Proceedings, 16th Central Hardwood Forest Conference; 2008 April 8-9; West Lafayette, IN. Gen. Tech. Rep. NRS-P-24. Newtown Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station: 386-393.
- VanderSchaaf, C. L. (2012). Mixed-effects height-diameter models for commercially and ecologically important conifers in Minnesota. *Northern Journal of Applied Forestry*, 29 (1), 15-20.

- VanderSchaaf, C. L. (2014). Mixed-effects height–diameter models for ten conifers in the inland Northwest, USA. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 76 (1), 1-9.
- VanderSchaaf, C. L., & Burkhart, H. E. (2007). Relationship between maximum basal area carrying capacity and maximum size-density relationships. *Mod Applied Science*, 1 (4), 3-6.
- VanderSchaaf, C. L., & Stuhlinger, H. C. (2012). *A mixed-effects height-diameter model for cottonwood in the Mississippi Delta*. In In: Butnor, John R., ed. 2012. Proceedings of the 16th biennial southern silvicultural research conference. e-Gen. Tech. Rep. SRS-156. Asheville, NC: US Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station. 352-358.
- Vargas-Larreta, B., Aguirre-Calderón, O. A., Corral-Rivas, J. J., Crecente-Campo, F., & Diéguez-Aranda, U. (2013). Dominant Height Growth and Site Index Model for *Pinus pseudostrobus* Lindl. in Northeastern Mexico. *Agrociencia*, 47 (1), 91-106.
- 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.
- Vonesh, E., & Chinchilli, V. M. (1997). *Linear and Non-Linear Models for the Analysis of Repeated Measurements* Marcel Decker. Inc, New York, NY.
- 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, P. W., Ratkowsky, D. A., & Davis, A. W. (1984). Problems of hypothesis testing of regressions with multiple measurements from individual sampling units. *Forest Ecology and Management*, 7 (3), 207-224.
- Westfall, J. A., & Scott, C. T. (2010). Taper models for commercial tree species in the Northeastern United States. *Forest Science*, 56 (6), 515-528.
- Xu, W. (2012). *Modelling Jack Pine (Pinus banksiana Lamb) and Black Spruce [Picea mariana (Mill.) BSP] growth and yield in Manitoba*. (PhD Thesis, University of Manitoba)
- Yang, Y., & Huang, S. (2013). On the statistical and biological behaviors of nonlinear mixed forest models. *European journal of forest research*, 132 (5-6), 727-736.

- Yang, Y., Huang, S., & Meng, S. X. (2009). 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. (2009). Nonlinear mixed-effects modeling of variable-exponent taper equations for lodgepole pine in Alberta, Canada. *European Journal of Forest Research*, 128 (4), 415-429.
- Yavuz, H. (1995). *Taşköprü orman işletmesinde sarıçam ve karaçam için uyumlu gövde çapı, gövde hacmi ve hacim oran denklem sistemlerinin geliştirilmesi*. (Basılmamış Doçentlik tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı)
- Yavuz, H., & Saraçoğlu, N. (1999). Compatiple and Noncompatiple Stem Taper Equations for Alder. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23 (EK5), 1275-1282.
- Zang, 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., Packard, K. C., & Liu, C. (2003). A comparison of estimation methods for fitting Weibull and Johnson's SB distributions to mixed spruce fir stands in northeastern North America. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 (7), 1340-1347.
- 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 : Onur ALKAN
Doğum Yeri ve Yılı : Siirt, 1986
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : onuralkan@isparta.edu.tr

Eğitim Durumu

Lise : Torbalı Lisesi, 2004
Lisans : Ankara Üniversitesi Çankırı Orman Fakültesi, 2010
Yüksek Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013

Mesleki Deneyim

SDÜ, Orman Fakültesi 2011-2018
ISUBÜ, Orman Fakültesi 2018-..... (halen)

Yayınlar

- Özçelik, R., Alkan, H., & Alkan, O. (2018) Dikili ağaçların hacim tahmini için bazı metodların karşılaştırılması. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 19 (4), 380-385.
- Çatal, Y., Eler, Ü., Carus, S., Özçelik, R., & Alkan, O. (2014). *Tek Ağaçta Çap Artımı Üzerinde Artımın Ölçüldüğü Periyot Süresi ve Meşcere Sıklığının Etkisinin İncelenmesi (Ağlasun Kızılçam Ağaçlandırmaları Örneği)*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. 22-24 Ekim 2014. Isparta.170-178.
- Alkan, O., Özdamar, İ.H., & Uzun, B. (2014). *ABC Analizinin Orman Endüstri Sektöründe Kullanılması*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. 22-24 Ekim 2014. Isparta.1060.
- Özçelik, R., & Alkan, O. (2013). *Kızılçam Ağaç Türü İçin Yetiştirme Ortamı Bazlı Gövde Çapı ve Gövde Hacim Modellerinin Geliştirilmesi*. Ormanlıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, 26-28 Kasım-2013, Antalya. Bildiriler Kitabı 577-588.

- Ozdemir, I., Ozkan, K., Mert, A., Ozkan, U. Y., Senturk, O., & Alkan, O. (2012). *Mapping forest stand structural diversity using Rapideye satellite data. Image*, 1(1), 1-2.
- Özçelik, R., Alkan, O., & Korkmaz, M. (2018). *Local Volume Equations for Eucalyptus Plantations*. International Congress on Agriculture and Animal Sciences (ICAGAS-2018), 7-9 November 2018, Alanya.
- Özçelik, R., Alkan, O., & Alkan, H. (2018). *Stem Taper Models for Eucalyptus plantations in Southern Turkey*. International Congress on Agriculture and Animal Sciences (ICAGAS-2018), 7-9 November 2018, Alanya.
- Özçelik, R., & Alkan, O. (2018). *Tree Height Estimation Using Mixed-Effects Model For Cedar in Turkey*. International Congress on Agriculture and Animal Sciences (ICAGAS-2018), 7-9 November 2018, Alanya.
- Özçelik, R., & Alkan, O. (2017). *Development Of Stem Taper Model Using Nonlinear Mixed-Effects Approach For Brutian Pine*. International Conference The West Of The East, The East Of The West, 04-06 Temmuz 2017, Prague.
- Özçelik, R., Kaya, B., & Alkan, O. (2017). *Taper models for mixed pine species of the Western Blacksea Region, Turkey*. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2017 Cappadocia / Turkey).
- Özçelik, R., & Alkan, O. (2017). *Local Volume Equations For Black Pine In Southern Turkey*. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies (ICAFOF 2017 Cappadocia / Turkey).
- Özçelik, R., Göçer, N., & Alkan, O. (2017). *Regional height-diameter model for Taurus cedar using nonlinear mixed-effects approach*. International Symposium on New Horizons in Forestry, 18-20 Ekim 2017, Isparta/Turkey.
- Özçelik, R., Kalkanlı, Ş., & Alkan, O. (2017). *Comparative study of some standard and modern methods for volume estimation of standing trees*. International Symposium on New Horizons in Forestry, 18-20 Ekim 2017, Isparta/TURKEY.
- Özçelik, R., Alkan, O., & Yiğit, E. (2017). *Comparison of Some Segmented Taper Equations for Brutian Pine*. International Symposium on New Horizons in Forestry, 18-20 Ekim 2017, Isparta/Turkey.
- Özçelik, R., & Alkan, O. (2016). *Ecoregion based taper model for Lebanon cedar Cedrus libani A Rich in Mediterranean Region of Turkey*. 2nd International Conference On Science, Ecology And Technology-2016 (Iconsete'2016), Barcelona/Spain

Özçelik, R., & Alkan, O. (2016). *Ecoregion based volume equations for Brutian pine and Taurus cedar*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) Çukurova University, Congress Center, October 26-28, 2016, Adana / Turkey

